

음식물쓰레기의 퇴비화시 하수슬러지의 최적 혼합비율

이영세 · 최현국 · 김정근* · 이용희** · 정경태** · 노종수*** · 서명교****†

상주대학교 응용화학공학부, *상주시청 환경보호과
동의대학교 기초과학연구소 및 생명응용과학과, *동의공업대학 환경생명과

Optimum Mixing Ratio of Sewage Sludge during Composting of Food Wastes

Young Sei Lee · Hyun Kuk Choi · Jung Keun Kim* · Yong Hee Lee** ·

Kyung Tae Chung** · Jong Su Roh*** · Myung Gyo Suh****†

School of Applied Chemical Engineering, Sangju National University
*Environment Protection Division, Sangju City

**Research Institute of Basic Sciences & Life Science and Biotechnology Major, Donggeui University

***Dept. of Environment & Bio-Engineering, Donggeui Institute of Technology

(Received Sep. 13, 2004/Accepted Nov. 27, 2004)

ABSTRACT

Food waste is becoming by environmental problem nowadays increasing festinally in Korea during past 10 years. Food waste collected from garbage trucks that is offered in S municipal government that food waste mixes enough, and sewage sludge collected in the country. Composting experiment conditions achieved in the mixture ratio rate that food waste and sewage sludge are each 10:90, 30:70, 50:50, 60:40, 70:30 and 90:10 wt%. The fermentation temperature was 18~22°C at the beginning, and then it was sharply increased to 44~66°C up to 1 day after fermentation, which was maintained for more than 3 days. Then, it was slowly decreased to 18~25°C up to 8 days after fermentation, which was maintained all the time. It could be known from examination of various conditions, including reaction rate, salinity, carbon/nitrogen(C/N) ratio, temperature, organic substance, etc.. Optimum mixture ratio rate of composting using food waste and sewage sludge was 60:40 wt%.

Keywords: food wastes, sewage sludge, composting experiment, mixing ratio, fermentation

I. 서 론

90년대 말부터 음식쓰레기가 사회적으로 문제화되면서 수분이 많은 유기성 폐기물의 발생량이 매년 증가되고 있고 이는 생활쓰레기의 수분함량에 큰 영향을 미치고 있다. 음식물쓰레기를 처리할 수 있는 매립, 소각, 탈수, 재활용 등 여러 가지 방법 중에서 생활폐기물과 함께 매립하는 매립방식은 매립지 확보의 어려움 뿐만 아니라 높은 함수율로 인하여 침출수에 의한 토양 및 지하수 오염, 유해가스 및 악취발생에 따른 불쾌감 등 심각한 2차 오염을 수반할 수 있으며, 소각처리

는 높은 수분함량으로 인하여 발열량이 낮아서 보조연료의 사용을 가중시키며, 불완전 연소에 의하여 다이옥신과 같은 발암물질의 발생 등이 문제가 된다. 따라서 자원화의 일환으로 미생물의 호기성 대사작용을 이용하는 유기성 폐기물 처리방법 중의 하나인 퇴비화 반응을 통하여 환경에 악영향을 미치지 않는 안정한 형태로 만들어 재활용하고자 하는 시도가 진행되고 있다.¹⁾

이에 따라 최근 음식물쓰레기 및 하수슬러지를 재활용하는 방안이 활발히 연구되고 있으며 특히 음식물쓰레기 및 하수슬러지 퇴비화 방법은 가장 환경친화적인 방법이라 할 수 있고 재활용이라는 측면에서 보면 폐기물처리방법 중에서 가장 바람직한 방법이다.^{2,3)} 퇴비화는 각종 유기성 폐기물을 생물화학적으로 분해하여 안정화된 최종 생성물을 얻는 공정으로 최종 생성물을 토양개량제, 비료 등으로 유용하게 재활용 할 수 있

†Corresponding author : Department of Environment & Bio-Engineering, Donggeui Institute of Technology
Tel: 82-51-860-3256, Fax: 82-51-860-3335
E-mail: mongo@dit.ac.kr

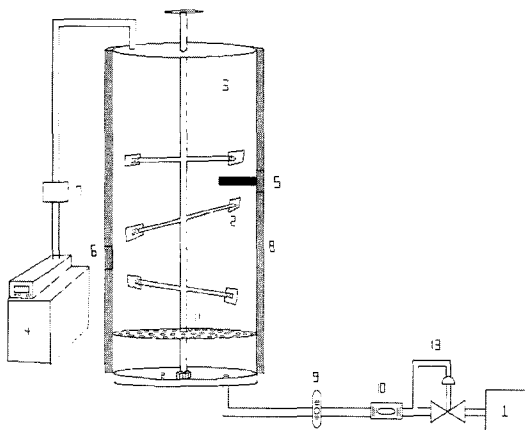
다.^{4,5)} 음식물쓰레기의 높은 염분농도와 하수슬러지의 높은 중금속함량 때문에 생산된 퇴비의 농지환원이 어려운 상태이므로 생산된 퇴비의 염분농도와 중금속함량을 낮추는 방법이 모색되어야 한다.⁶⁾ 음식물쓰레기의 경우 염분농도는 높지만 중금속함량은 낮으며 하수슬러지는 중금속함량은 높지만 염분농도는 낮으므로 이 두 유기성폐기물을 혼합하면 희석효과에 의하여 생산된 퇴비의 염분농도와 중금속함량을 낮출 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 우리나라에서 심각한 문제로 등장되고 있는 유기성폐기물중의 음식물쓰레기와 하수슬러지의 혼합비를 변화시키면서 퇴비화 실험을 실시하여 퇴비화 영향인자로 널리 알려져 있는 온도, 수분, pH, 유기물, 질소, C/N비, 염분농도 등 환경인자들의 변화에 대하여 조사 분석하였다. 또한 생산된 퇴비는 비료성분기준에 적합한지 여부에 대하여 검토하였다.

II. 연구 방법

1. 실험장치

유기성 폐기물의 퇴비화는 잠재적인 시장수요가 크기 때문에 여러 퇴비공장을 견학한 후 실용적인 연구를 통하여 시행착오없이 기술의 정착을 도모할 수 있도록 Fig. 1과 같이 실험장치를 제작하였다. 퇴비화 반응조는



- | | |
|--|-------------------|
| 1. Air compressor. | 8. Insulator |
| 2. Mixing impeller. | 9. Air flow meter |
| 3. Reactor(Composting material) | 10. Air filter |
| 4. CO ₂ - O ₂ analyzer | 11. Distributor |
| 5. Thermometer | 12. Air box |
| 6. Sampling port | 13. Air regulator |
| 7. Mixture absorbent(CaSO ₄) | |

Fig. 1. Schematic diagram of composting unit.

직경 30 cm, 높이 45 cm, 두께 5 mm의 아크릴 원통으로 구성되어 있으며 총 유효용적은 28.2 l이다. 발효에 필요한 공기를 원활하게 공급하기 위하여 반응조 하부 바닥 5 cm를 공기 공급부분으로 설계하였으며 일정량의 공기가 상부 퇴비화층을 통과할 수 있도록 분산판을 설치하였다. 또한 실험시 발생하는 발열량의 외부 누출을 방지하기 위하여 약 20 mm 정도의 단열재로 아크릴 반응조 외벽을 감싸주었다. 반응기의 상부와 외벽에는 간헐적으로 반응조 상태를 점검하고, 시료채취와 뒤집기를 실시할 수 있도록 뚜껑을 설치하였으며, 주입되는 공기량을 측정할 수 있도록 air flow meter를 설치하였다. 각 송풍기의 공기 공급유량은 0.8 l/kg·min이었으며, 온도, 수분 등에 따라 공기유량을 조절하였다. 반응조의 퇴비교반은 교반기를 이용하여 2회/일 실시하였다. 시료의 채취는 1일 1회 실시하여 pH 측정, 공시품 2~5 g을 항량병에 취하여 100±1°C에서 5시간 건조하여 달고 그 감량을 측정하는 수분측정과 회화법으로 유기물측정, 황산법으로 질소측정, 공시액 50~100 ml를 툴비키에 정확히 취하고 지시액으로 크롬산 1~2방울을 가하여 표준질산은액으로 적정해서 염소의 양을 산출하는 염분측정, 그리고 미생물 측정에서는 제공된 시료 10 g을 오염되지 않게 측정하여 멸균된 생리식염수 90 ml에 넣고 25°C, 120 rpm에서 30분간 혼합하였다. 그리고 용액 1 ml와 각 단계 희석액 1 ml씩을 멸균 페트리접시 2매 이상씩에 무균적으로 취해서, 약 43~45°C로 유지한 표준한천배지 약 15 ml를 무균적으로 분주하고 페트리접시 뚜껑에 부착하지 않도록 주의하면서 조용히 회전하여 좌우로 기울이면서 검체와 배지를 잘 섞고 냉각 응고시켰다. 냉각 응고시킨 페트리 접시는 거꾸로 하여 35±1°C에서 24시간 배양했다. 배양 후, 즉시 집락 계산기를 사용해서 생성된 집락수를 계산했다. 집락수의 계산은 확산집락이 없고 1평판 당 30~300개의 집락을 생성한 평판을 택해서 집락수를 계산했다. 집락수는 희석배수로 곱하고 그 수치가 표준평판법에 있어서 1 ml중의 세균수 몇 개라고 기재하고 동시에 배양온도를 기록했다. 숫자는 높은 단위로부터 3단계를 반올림하여 유효숫자를 2단계로 끊어 이하를 0으로 했다. 또한 비소, 납, 카드뮴, 구리, 크롬, 수은, 아연, 니켈의 중금속 측정은 공정시험법에 의거해서 시료를 전처리한 후에 유도결합플라즈마발광분광기(ICPS-7500, shimadzu)로 측정하였다.

2. 퇴비원료물질

퇴비원료물질 중에서 음식물 쓰레기는 퇴비업체에서 음식물 쓰레기의 퇴비화시 사용하는 것과 같이 S시 음

Table 1. Physicochemical characteristics of composting sources

Partition	pH	Organic matters (%)	Moisture (%)	C/N ratio	Salinity (%)
Food waste	4.10	20.68	76.74	16.76	0.56
Sewage sludge	7.15	17.89	75.90	8.67	0.05
Moisture regulator	5.38	85.05	12.39	159.89	0.03
Compost standard	-	over 25	below 50	-	below 1.0

Table 2. Concentration of heavy metals in composting sources (unit; mg/kg)

Partition	As	Cd	Hg	Pb	Cr	Cu	Ni	Zn
Food waste	0.08	0.10	trace	0.05	0.90	0.76	0.41	4.22
Sewage sludge	0.91	0.49	trace	3.19	10.98	47.15	8.09	98.95
Moisture regulator	0.24	0.07	trace	0.94	3.26	2.49	2.00	4.12
Compost standard	50	5	2	150	300	300	5	900

식물쓰레기 수거차량에 의해 수거된 음식물 쓰레기를 퇴비공장에서 재활용하기 직전에 채취한 것이고, 하수슬러지는 퇴비원료로서 현행규정에 위배되지 않는 먼 단위 하수처리장(K도 Y군 K면 하수처리장)에서 채취한 것이다. 수분조절제는 톱밥제조공장에서 구입한 톱밥을 사용하여 초기 수분을 55~65%로 조절한 후 혼합물을 반응기에 투입하였다. 퇴비원료물질과 수분조절제의 물리화학적 특성 및 중금속 함량은 Table 1, Table 2에 나타내었다. 음식물쓰레기의 수분 함량은 76.74%이고 유기물 함량은 20.68%이며 pH는 4.10로 산성을 나타내었으며 Total-Carbon(T-C)는 9.72%, Total-Nitrogen(T-N)은 0.58%, Carbon/Nitrogen(C/N)비는 16.76로 나타났다. 하수슬러지의 경우 수분함량은 75.90%, 유기물은 17.89%, T-C는 8.41%, T-N은 0.97%, C/N비는 8.67로 나타났고 pH는 7.15로 약알카리성을 나타내었다. 중금속 함량의 경우 하수슬러지가 음식물쓰레기에 비해 상대적으로 높게 나타났다.

3. 실험방법

혼합비별 퇴비화 실험은 Table 3과 같이 6개의 반응

조에 음식물쓰레기와 하수슬러지를 각각 중량비인 10:90(No. 1, 톱밥주입량; 1.3 kg), 30:70(No. 2, 톱밥주입량; 1.5 kg), 50:50(No. 3, 톱밥주입량; 1.7 kg), 60:40(No. 4, 톱밥주입량; 1.9 kg), 70:30(No. 5, 톱밥주입량; 2.3 kg), 90:10(No. 6, 톱밥주입량; 2.8 kg)의 혼합비로 혼합하여 실험하였다. 수분조절제 사용량은 음식물쓰레기의 수분이 하수슬러지에 비하여 높아 음식물쓰레기의 함량이 높아짐에 따라 많이 투입하였으며 반응기에 투입전 혼합물의 수분을 55~65%로 조절 후 반응기에 투입하여 18일간 발효시켰다.

III. 결과 및 고찰

1. 퇴비화 구성성분 변화

1) 유기물 함량의 변화

퇴비의 부숙이 진행됨에 따라 유기물에 함유되어 있는 성분 중에서 당, 단백질, 전분 > 헤미셀룰로오스 > 셀룰로오스 > 리그닌 순으로 분해되며, 일반적으로 타 연구는 식당에서 배출되는 음식물쓰레기를 사용하여 탄수화물이 주종을 이루는 밥성분이 높아서 C/N비가 높

Table 3. Initial mixing ratio of food waste and sewage sludge

Partition	Food : sludge (%)	Food waste input quantity (kg)	Sewage sludge input quantity(kg)	Compost manufactured (kg)	Sample weight (kg)
No. 1	10 : 90	1.4	12.6	0.7	14.7
No. 2	30 : 70	4.2	9.8	0.7	14.7
No. 3	50 : 50	7.0	7.0	0.7	14.7
No. 4	60 : 40	8.4	5.6	0.7	14.7
No. 5	70 : 30	9.8	4.2	0.7	14.7
No. 6	90 : 10	12.6	1.4	0.7	14.7

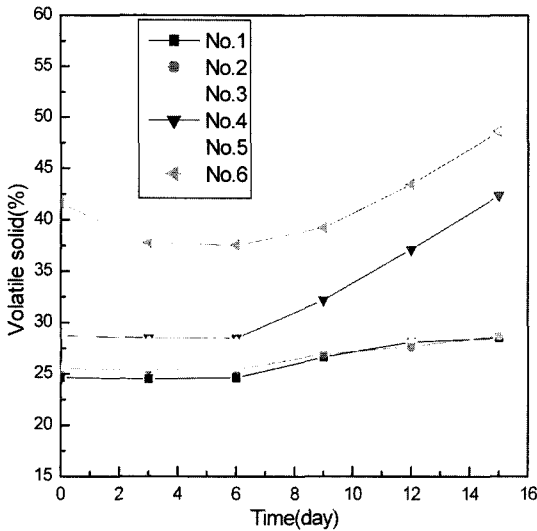


Fig. 2. Changes of organic matters.

으며 분해가능한 물질이 많아 발효시간이 지남에 따라 유기물농도가 감소하나,^{7,8)} 본 실험에서는 증가하는 특이한 현상을 보였다. 이는 단독주택 및 아파트를 중심으로한 S시의 가정용 음식물쓰레기를 수거차량의 음식물쓰레기로 사용하여 얻은 결과로써 분해기간이 경과됨에 따라 수분함량이 감소되어 나타난 현상으로 추측된다. 즉 본 실험에 사용한 음식물쓰레기의 특성에 따른 것으로 C/N비가 낮고 저분자로 쉽게 분해되는 밥성분이 적고 채소류가 많으므로 분해속도가 느려 Fig. 2와 같이 발효개시 9일 이후 유기물함량이 증가한 것으로 사료된다.

2) pH 변화

발효에 따른 pH 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 초기 시료의 pH는 No.1은 6.2, No.2은 5.7, No.3은 5.2, No.4은 5.0, No.5은 4.5, No.6은 4.4로서 음식물쓰레기의 혼합비율이 높아짐에 따라 낮은 pH를 나타내고 있다. 이는 식당 음식물쓰레기를 사용한 일반 연구와는 달리 S시내 주택 및 아파트단지를 중심으로 한 S시 음식물쓰레기 수거차량의 음식물쓰레기를 사용하였으므로 실험에 사용된 음식물쓰레기는 각 가정에서 3~6일간 보관된 것으로 추정된다. 따라서 각 가정에서 보관되는 동안 유기물 분해로 인하여 유기산 등의 반응생성물이 나오기 때문이다.⁹⁾ 퇴비화 반응조 내부로 공기가 0.8 l/kg·min로 투입되기 때문에 호기성 미생물에 의해 퇴비화 반응이 일어나며 발열반응에 의해 반응조의 온도가 44~66°C로 유지됩니다. 또한 발효과정에서

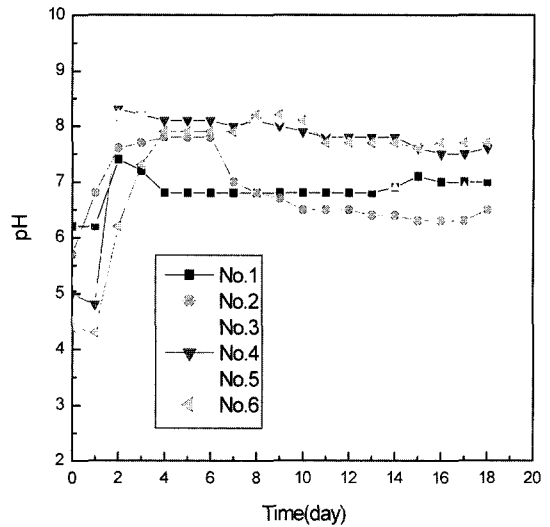


Fig. 3. Changes of the pH values.

암모니아, 메탄 등 유해가스가 발생하여 미생물의 생육을 저해시키므로 이들 가스의 적절한 제거가 필요하고, 이때 pH는 암모니아가스의 휘발로 인하여 상승되는 것이다. 유기산 생성이 2일 정도 유지된 후 pH가 급격히 상승하여 pH 7.4~8.2로 되는데 이는 퇴비내에 NH₄⁺ 형태로 존재하던 질소성분이 NH₃ 형태로 변하여 휘발되기 때문이다. 암모니아 생성으로 인하여 높아진 pH는 발효 9일 경과 후부터 점차로 감소하여 pH 6.7~7.7를 유지하였다.

3) C/N비의 변화

Fig. 4에 C/N비의 변화량을 나타낸 것으로 Fig. 4에서 보듯이 초기 C/N비는 15.42~22.28로서 음식물쓰레기의 혼합비율이 높을수록 높게 나타나고 있다. 이는 하수슬러지의 C/N비는 작고 음식물쓰레기의 C/N비는 큰 것에 기인한 것으로 판단된다. 음식물쓰레기의 혼합비율이 높을수록 C/N비가 높은 것은 음식물쓰레기의 영향도 있으나 수분조절제의 영향이 더 크다고 생각된다. 일반적으로 음식물쓰레기를 퇴비화 할 경우 초기 C/N비는 20~25 정도가 적합한 것으로 알려져 있지만,¹⁰⁾ 본 실험에서는 No.1을 제외한 모든 반응기에서 퇴비화가 잘 이루어지고 있으므로 초기 C/N비가 16.18~20.00(No.2, No.3)범위에서도 퇴비화에 큰 문제가 되지 않은 것으로 사료된다. No.1은 C/N비가 15.42로서 너무 낮기 때문에 퇴비화가 잘 이루어지지 않았으며 온도도 최고 32.2°C로서 비교적 낮게 나타났다. 발효개시 8일 후에 모든 반응기에서 C/N비가 상승하였는데 이는

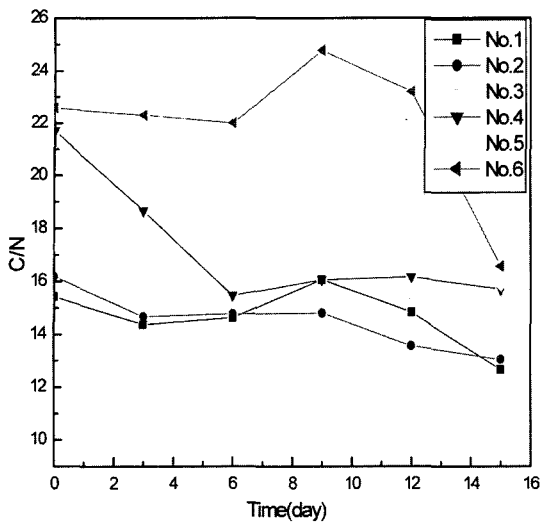


Fig. 4. Changes of the C/N ratio.

기질중의 질소손실이 탄소화합물 분해를 보다 크게 되어 일시적으로 C/N비가 상승한 것으로 판단된다. 음식물쓰레기와 제지슬러지의 혼합퇴비화시 최종/최초의 C/N비가 0.8이면 퇴비화가 완료되었다고 볼 때¹¹⁾ 본 연구에서는 실험결과 최종/최초의 C/N비가 0.8에 근접하고 있어 발효개시 15일 이내에 퇴비화가 완료되었다고 볼 수가 있으며 C/N비가 퇴비화에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 생각된다.

4) 함수율 변화

Fig. 5에 발효기간에 따른 수분함량의 변화를 나타내

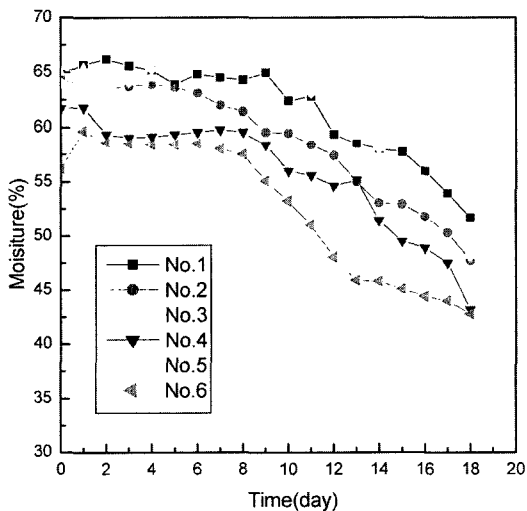


Fig. 5. Changes of water content.

었다. S시에서 분리수거된 음식물쓰레기의 수분함량은 76.74%, K면 하수처리장에서 채취한 하수슬러지의 수분함량은 75.90로서 퇴비화시 최적 수분함량인 55~65%보다 높아 수분조절제인 톱밥을 첨가하여 수분을 55~65%로 조절한 후 반응기에 투입하였다. 일반적으로 유기물의 호기성 생분해가 진행됨에 따라 수분이 감소하는데 본 실험에서는 발효개시 8일까지는 수분이 감소하지 않았다. 이는 유기물이 분해되어 수분으로 변한 양과 공기주입에 따른 수분증발량이 비슷하기 때문에 판단되며 8일 이후부터는 공기주입량에 비례하여 수분이 급격히 감소하였으며 발효개시 18일 후에는 No.1을 제외한 모든 반응기의 수분이 퇴비기준인 50% 미만으로 떨어졌다. 이는 미생물 분해에 의해서 기질이 고갈되고 공기주입으로 수분이 증발되었기 때문에 사료된다.

5) 염분농도의 변화

S시에서 수집된 음식물쓰레기는 자연 탈수과정을 거쳐 채취하였으므로 초기 염분농도가 0.56%로서 비교적 낮았다. 염분농도는 증발이나 화학적 작용에 의하여 없어지지 않고 그 전량이 퇴비화 공정에 남기 때문에 퇴비화가 진행되는 동안 유기물의 감량으로 인해 점차 농축되게 된다. Fig. 6와 같이 염분농도는 초기 음식물쓰레기 농도에 비해 혼합비 70:30(No.5) 이상에서 농축효과가 나타나고 그 이하의 혼합비에서는 희석효과를 나타낸다. 발효기간이 경과함에 따라 염분의 농축으로 인하여 염분농도가 증가하는데 이에 따른 미생물의 활성이 떨어지지 않으므로 염분에 의한 미생물 활성의 저

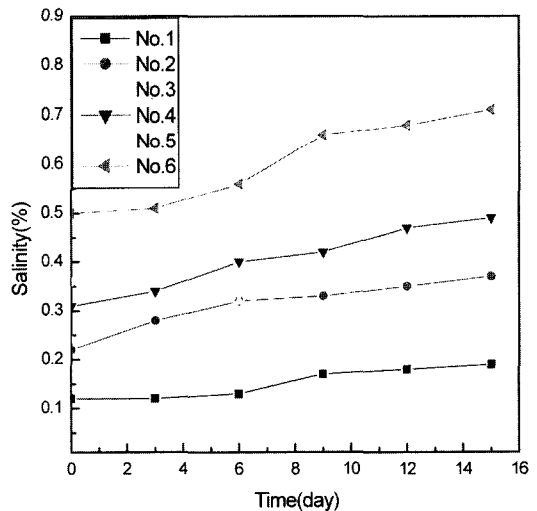


Fig. 6. Changes of salt concentration.

하는 없는 것으로 사료된다. 이는 퇴비화 과정에 관여하는 미생물이 너무 많아서 모든 미생물 분석이 불가능하여 일반세균만 측정하였으나 퇴비화에 필요한 미생물수는 $10^8 \sim 10^9$ 마리/g인데, 본 실험에서는 퇴비화 기간동안 일반세균 분석결과 $10^8 \sim 10^9$ 마리/g으로서 정상적인 퇴비화 반응이 일어났다고 사료된다. 그러나 일반세균외에 방선균, 사상균 등을 합하면 미생물수는 더욱 많을 것으로 생각된다. 혼합비율을 달리한 6개의 전 반응기에서 염분농도가 비료공정규격인 1%보다 크게 낮았으므로 염분으로 인한 문제점은 없는 것으로 판단된다.

6) 총균수의 변화

하수슬러지는 가정에서 발생하는 분뇨 및 음식물쓰레기의 잔재물 등으로 유래되었기 때문에 미생물 성장에 필요한 영양분을 충분히 갖추고 있다. 하수슬러지는 많은 미생물 집단을 이루고 있으며 퇴비화시 식중제로 퇴비 완제품을 중량비로 5%를 첨가하였으므로 일반적인 연구에 비해 발효초기부터 미생물의 농도가 높은 것으로 나타났다. 이는 음식물쓰레기가 각 가정에서 2~6일 동안 보관되는 동안에 산 발효를 일으켜 중온성 미생물이 배양되었기 때문으로 추정된다. 퇴비화 과정중의 총균수는 $10^8 \sim 10^9$ 마리/g을 유지하여 정상적인 퇴비화 반응이 일어났으며 고온성 세균은 발효온도 60°C 이상에도 사멸하지 않음을 알 수 있다. Fig. 7과 같이 발효개시 2일째부터 No.1을 제외한 모든 반응기에서 온도가 50°C 이상으로 상승하였는데 이는 중온성 미생물이 유기물을 분해하면서 이들의 작용에 의해 온도가 상승하

였고, 고온성 세균으로 대체되었으며, 4일이 지나서부터 온도가 떨어져 중온성 미생물이 재정착하였음을 보여준다.

7) 온도변화

각 반응기의 온도는 Fig. 8과 같이 초기 $18 \sim 22^\circ\text{C}$ 에서 No.1을 제외한 모든 반응기에서 발효 1일 경과 후 급격히 증가하여 $44 \sim 66^\circ\text{C}$ 를 3일 이상 유지되었고 3일 동안의 온도 상승은 미생물 호흡에 의한 발열반응 때문으로 판단된다. 퇴비화 온도는 최소 약 40°C 이상이 되어야 하는데 No.1은 발생열량의 부족으로 인하여 최고 온도가 32°C 로서 퇴비화 반응이 일어나지 않고 있음을 알 수 있다. No.2~6는 54°C 이상의 고온대로 상승한 후 일정기간 동안 유지하고 있으므로 정상적인 퇴비화 반응이 이루어지고 있음을 알 수 있다. 이는 음식물 쓰레기의 혼합비율이 30%보다 적으면 유기물이 부족하여 퇴비화 온도유지가 곤란하고 퇴비화가 진행되지 않는 것을 알 수 있다. 유기물 분해반응은 발열반응인데 본 실험에서는 초기에 급속한 반응성을 나타냈으나 지속시간이 비교적 짧았다. 이는 고분자 화합물인 밥성분이 미생물에 의해 쉽게 저분자로 분해되었기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 음식물쓰레기의 혼합비율이 30% 이상이 되어야 정상적으로 퇴비화 반응이 일어나는 것으로 판단되며 음식물쓰레기의 비율이 클수록 유기물이 많아 고온대 유지시간이 길게 나타나고 있다. 일반적으로 발효개시 후 온도변화가 없는 경우 발효가 완료된 것으로 간주할 수 있는데 본 실험에서는 각 반응기 공히 발효개시 10일째부터 온도가 일정해짐

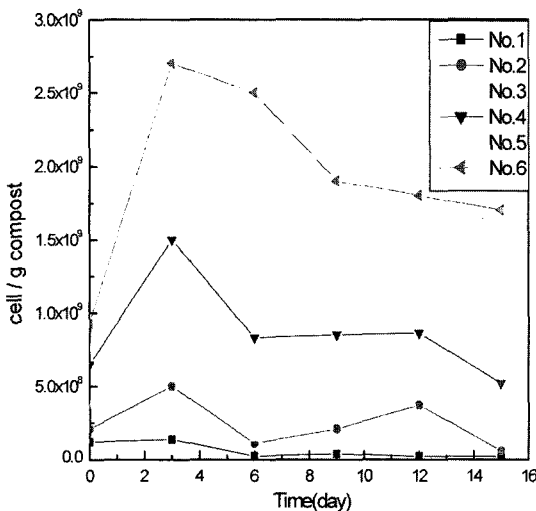


Fig. 7. The number of total bacteria.

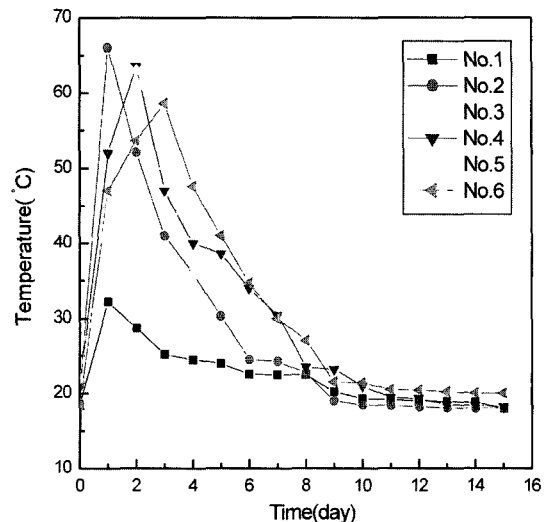


Fig. 8. Changes of temperature.

을 확인할 수 있었다.

2. 속도상수

미생물이 기질을 분해함에 있어서 퇴비화 반응을 일차반응으로 가정하면 반응에 관여하는 휘발성 유기물질의 변화는 다음 식으로 표현된다.¹²⁾

$$\frac{d(V_s)}{dt} = -k_d(V_s) \tag{1}$$

여기서 k_d = 반응속도상수(day⁻¹)
 V_s = 유기물농도(%)
 t = 시간(day)

이를 적분하면

$$\ln \frac{V_{s_t}}{V_{s_0}} = -k_d t \tag{2}$$

반응시간 변화에 따른 V_s 를 대입하여 일차반응식으로 표현하면 기울기에 의해서 반응속도상수 k_d 를 구할 수 있다. 반응속도상수는 음식물쓰레기 혼합비율이 10% (No.1)의 경우 0.01179, 30%(No.2)의 경우 0.00882, 50%(No.3)의 경우 0.01000, 60%(No.4)의 경우 0.02051, 70%(No.5)의 경우 0.01087, 90%(No.6)의 경우 0.01236 day⁻¹로서 음식물쓰레기의 혼합비율이 60%의 경우가 가장 높게 나타났다. 이는 음식물쓰레기의 혼합비율이 60%의 경우가 퇴비 내 미생물의 활동으로 유기물질이 가장 잘 분해되는 것을 알 수 있다.

3. 중금속 함량

본 실험에 의한 퇴비 완제품의 유래 중금속 함량을 Table 4에 나타내었다. 그 결과 본 실험에 의한 퇴비완제품의 중금속 함량은 퇴비기준치에 비하여 상당히 낮았으며, 수분조절제로 사용되는 톱밥과 음식물쓰레기는 하수슬러지에 비하여 중금속 함량이 미미한 것으로 나타났다(Table 2). 본 실험에 사용된 K도 Y군 K면 하수처리장의 하수슬러지처럼 농촌지역의 하수처리장에서 발생하는 대부분의 하수슬러지는 퇴비화할 경우 비료공정규격 기준치 이내일 것으로 예상된다. 또한 하수

슬러지를 음식물쓰레기 및 톱밥과 혼합하므로 중금속은 희석되어 최종 퇴비의 품질은 향상된 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구는 단독주택 및 아파트를 중심으로한 S시 음식물수거차량의 음식물쓰레기와 하수슬러지의 퇴비화시 적정혼합비를 결정하고자 음식물쓰레기:하수슬러지를 중량비 10:90, 30:70, 50:50, 60:40, 70:30, 90:10의 비율로 혼합한 후 퇴비화 실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 본 실험에서 사용한 퇴비원료는 C/N비가 낮고 저분자로 쉽게 분해되는 밥성분이 적으며, 채소류가 많으므로 분해속도가 느려 발효초기에는 유기물함량이 감소하였으나 9일 이후에는 유기물함량이 증가하는 것으로 나타났다. 유기물 분해반응은 발열반응인데 본 실험에서는 초기에 급속한 반응성을 나타냈으나 지속시간이 짧았다. 이는 고분자 화합물의 밥성분이 미생물에 의해 쉽게 저분자로 분해되었기 때문인 것으로 판단된다.

2. 발효온도는 초기 18~22°C에서 발효 1일 경과 후 급격히 증가하여 44~66°C를 3일 이상 유지하였다. 발효 8일 경과 후 서서히 감소하여 18~25°C를 유지하였다. 퇴비화 기간중 pH의 변화는 발효초기에 유기산 생성으로 pH 4.5~6.2로 떨어졌으며 발효 2일 경과 후 암모니아 생성으로 인하여 pH 7.4~8.7까지 상승하였다가 점차 낮아져 pH 6.5~7.7을 유지하였다.

3. 염분의 농도는 초기 음식물쓰레기의 농도에 비하여 음식물쓰레기와 하수슬러지의 혼합비 70:30 이상에서 농축효과를 나타내고 그 이하의 혼합비에서는 희석효과를 나타냈다. 혼합비를 달리한 6개의 전 반응기에서 비료공정규격 기준치인 1%보다 크게 낮았으므로 음식물쓰레기 퇴비화시 염분으로 인한 문제점은 없는 것으로 나타났다.

4. 음식물쓰레기의 혼합비율이 높을수록 유기물농도 및 염분농도가 높았으며 고온대 유지시간도 길었다.

5. 퇴비원료인 하수슬러지의 유해중금속 분석결과 비

Table 4. Content of heavy metals in compost (in No 4)

Partition	As	Cd	Hg	Pb	Cr	Cu	Ni	Zn
Compost manufactured goods (mg/kg)	1.01	0.69	trace	33.51	26.99	25.70	5.19	77.07
Compost standard (mg/kg)	50 below	5 below	2 below	150 below	300 below	300 below	50 below	900 below

료공정규격 중금속 기준치에 비하여 크게 낮아 퇴비화시 유기질원으로 사용할 수 있었으며, 읍면 단위의 농촌지역에서 발생하는 대부분의 하수슬러지를 퇴비화할 경우 기준치 이내일 것으로 판단된다. 또한 음식물쓰레기 및 톱밥의 첨가로 인하여 중금속은 희석되어 최종 퇴비의 품질을 향상시킬 수 있었다.

6. 퇴비화 과정 중의 총균수는 10^{8-9} 개/g으로서 반응기간 동안 크게 변화가 없었는데 이는 식종제로 퇴비 완제품을 5% 첨가하였을 뿐만 아니라 음식물 쓰레기가 각 가정에서 2~6일간 보관되면서 산 발효에 의해 미생물이 증식되었기 때문으로 사료되나 이에 대한 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

7. 퇴비화 반응이 정상적으로 일어나는 음식물쓰레기의 혼합비는 30% 이상이어야 하는 것으로 나타났다. 그 이하의 혼합비에서는 유기물 부족으로 발열량 부족 현상이 일어나 퇴비화에 적절한 고온유지가 불가능하였다. 음식물쓰레기의 혼합비율이 30% 이상일 경우 최종제품의 함수율, 유기물 대 질소비, 유기물, 중금속, 염분 등의 농도는 비료공정규격에 적합하였다.

8. 각 반응기의 유기물질 분해반응을 1차 반응이라 가정하면 그 반응속도상수 k_1 는 음식물쓰레기가 10% 혼합된 반응기가 0.01179, 30%의 경우 0.00882, 50%의 경우 0.01000, 60%의 경우 0.02051, 70%의 경우 0.01087, 90%의 경우 0.01236 day^{-1} 로서 60%의 경우가 가장 높게 나타나 반응이 가장 빠르게 일어남을 알 수 있었다. 따라서 음식물쓰레기 퇴비화시 반응속도, 염분, C/N비, 온도, 유기물 등 여러 조건을 검토해 볼 때 음식물쓰레기를 60%(No.4)로 혼합할 경우 가장 이상적인 퇴비화 반응이 일어남을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 권혁구, 이장훈, 염근 : *Rhodotorula rubra*의 항원특성에 관한 연구. 한국환경위생학회지, **28**(5), 28-34, 2002.
2. 배재근 : 유기성폐기물(음식물쓰레기 및 슬러지)의 호기성퇴비화기술의 현황과 전망. 첨단환경기술, 100-135, 2002.
3. 정준오, 안정희 : 공기공급량이 음식폐기물의 퇴비화 반응에 미치는 영향. 대한환경공학회지, **23**(6), 1013-1021, 2001.
4. 신항식 : 음식물쓰레기 퇴비화시 bulking agent의 적정첨가량 결정에 관한 연구. 한국유기성폐자원학회지, **2**(1), 66-74, 1994.
5. 신항식 : 하수슬러지와 음식물쓰레기의 혼합소화시 혼합비율과 기질농도에 따른 분해특성. 한국유기성폐자원학회지, **10**(1), 58-65, 2002.
6. 배재근, 주요섭, 박정수 : 음식물쓰레기염분농도가 퇴비화 및 식물성장에 미치는 영향. 한국유기성폐자원학회지, **10**(4), 179-185, 2002.
7. 전병관, 허당 : 음식물쓰레기의 퇴비화에 관한 기초연구. 한국유기성폐자원학회지, **4**(1), 75-86, 1996.
8. 배재근, 최중오 : 음식물쓰레기 퇴비화 장치의 개발 동향. 첨단환경기술, 61-73, 1994.
9. Poincelot, R. P. A. : Scientific examination of the principles and practice of composting. *Compost Sci.*, **15**(1), 24-31, 1974.
10. George, T. : *Integrated Solid Waste Management*. McGraw-Hill, New York, 731-732, 1993.
11. 장기운, 김상덕, 최우영, 이규승 : 제지슬러지퇴비의 농업적 이용연구. 한국토양비료학회지, **25**(2), 149-154, 1992.
12. Godden, B. and Pennincks, M. J. : Identification and evolution of the cellulolytic microflora during composting of cattle manure : on the role of Actinomycetes sp.. *Ann. Microbiol.*, **135**(B), 69-78, 1984.