

음식물쓰레기의 퇴비화에 관한 기초적 연구

전 병 관 · 허 당

동신대학교 환경공학과

A Fundamental Study on Composting of Garbage

Byung-Gwan Jeon, Dang Hur

Department of Environmental Engineering, Dongshin University

ABSTRACT

A fundamental study on composting garbage was performed in a laboratory scale of a high-speed composting reactor. Major parameters were moisture content, temperature and C/N ratio.

The results are as follows;

pH of the compost was the highest at moisture 60% and anaerobic condition occurred at 70%. It was, also, found that C/N ratio, caused a nitrogen loss due to an occurrence of plentiful NH_3 . Under controlling Temperature, pH was the highest at 60°C and an inverse effect for Composting occurred under excessive Temperature as pH at 70°C was lower than that of soil. The variation of pH and C/N ratio was the lowest when C/N ratio was 25.

The results obtained from composting garbage revealed that the best condition of composting occurred under 50 to 60% of moisture content, 60°C of temperature, and 25 of C/N ratio.

It is believed that composting may be finished with in 56 hours if an optimal condition is setting up.

Key words : Composting of garbage, Heating-Aeration-Mixing Reactor, Bulking agent, Moisture, Temperature, C/N ratio

초 목

본 연구는 실험실규모로 제작된 고속퇴비화기를 이용하여 음식물쓰레기를 퇴비화하고자 하였다. 연구의

주된 지표는 수분, 온도, C/N비였다.

수분을 조건으로 한 실험에서 pH 변화는 60%가 가장 높았으며, 70%는 혐기성반응이 일어남을 볼 수 있었고 C/N비 변화에서는 NH₃의 다량발생으로 질소소실의 우려가 있는 것으로 드러났다.

온도를 조건으로 한 실험에서 60°C의 pH가 가장 높았으며 70°C의 pH는 토양의 pH 보다 낮게 나타나 지나친 고온은 퇴비화에 역효과를 나타냄을 볼 수 있었고, C/N비의 실험에서는 C/N비 25가 pH와 C/N비의 변화가 가장 작았다.

결과적으로 음식물쓰레기의 퇴비화에서 수분은 50~60%, 온도는 60°C, C/N비는 25가 적당함을 알 수 있었으며, 조건을 잘 조절해 준다면 56시간안에 퇴비화가 가능할 것으로 판단된다.

핵심낱말 : 음식물쓰레기, 퇴비화, 수분, C/N비, 온도

1. 서 론

인구증가와 더불어 생활수준의 향상과 도시로의 인구집중화로 인하여 대량의 폐기물이 발생하고 있으며 이에 대한 처리는 이미 심각한 사회문제로 대두되었다. 더우기 95년에 실시된 종량제로 쓰레기의 감량화에 대한 관심이 높아지면서 가정에서 발생하는 음식물쓰레기에 대하여 많은 관심을 가지게 되었다. 우리나라 1995년의 음식물쓰레기의 발생량은 15,075 ton/day이며 가연성 생활쓰레기의 약 41.7%에 달하고 있다. 이렇게 대량 발생하는 음식물쓰레기는 현재 대부분 매립에 의존하여 처리하고 있고 일부를 소각이나 사료화 또는 퇴비화하여 사용하고 있다. 매립장에 처리 할 경우의 문제점으로는 매립장의 수명단축과 악취, 침출수의 질 저하와 량을 증가시키는 등의 문제를 야기시키고 있다. 또 소각으로 처리할 경우에는 높은 수분함량으로 인한로의 열손실과 수명단축, 불완전 연소로 인한 다이옥신 생성의 원인이 되기도 한다. 무엇보다도 이들의 방법은 자원의 음식물쓰레기를 폐기시키는 결과를 초래할 뿐이며 만일 음식물쓰레기를 사료화나 퇴비화시켜 활용하게 되면 이들로 인하여 유발될 가능성이 있는 환경오염을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 자원의 재생산 측면에서도 커다란 공헌

을 할 것으로 생각된다.

퇴비화는 원래 농가에서 발생하는 볏짚, 밀짚, 가축 및 인분뇨, 그리고 음식물쓰레기 등을 쌓아 올린 퇴비더미내에서 자연적인 분해과정을 거쳐 퇴비를 만들어내는 전통적인 농경사회의 한 방법이었는 데 폐기물 처리문제가 심각히 대두되면서 이러한 방법이 생분해성 폐기물의 처리에 적용되어 탈수된 슬러지나 각종의 고형폐기물, 또는 이의 혼합물을 적절하게 제어하는 조건하에서 생물학적으로 분해하여 안정화 및 감량화를 꾀하는 폐기물처리기술로서 자리잡게 되었다.

현재 퇴비화에 관한 연구는 크게 다음의 세가지 분야로 진행되고 있다. 첫째는 외국에서 실용화되고 있는 대단위 퇴비화시설을 국내실정에 맞게 변화시켜 적용하는 방안에 관한 연구이고, 둘째는 고효율 퇴비화시스템의 개발에 관한 연구로서 발효미생물, 효소, 발효기 등의 개발이 여기에 속한다. 마지막으로 퇴비제품의 질 향상에 관한 연구로 토양에 무해하며 나아가서는 작물생산에 획기적인 효과를 거둘 수 있는 퇴비를 만들어 내는 기술이다. 이 중에서 가장 시급한 과제는 기존에 개발된 기술을 국내실정에 맞게 연구하는 방안으로 국토가 좁은 우리나라는 음식물쓰레기를 빠른 기간내에 퇴비화, 안정화 할 수 있는 기술이 필요한 실정이다.

따라서 본 연구는 음식물쓰레기를 고속발효화

하고자 하였으며 이때 미생물의 생장에 영향을 미치는 인자인 수분과 C/N비, 온도를 대상으로 실험하여 퇴비화에 관한 최적조건을 알아보고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

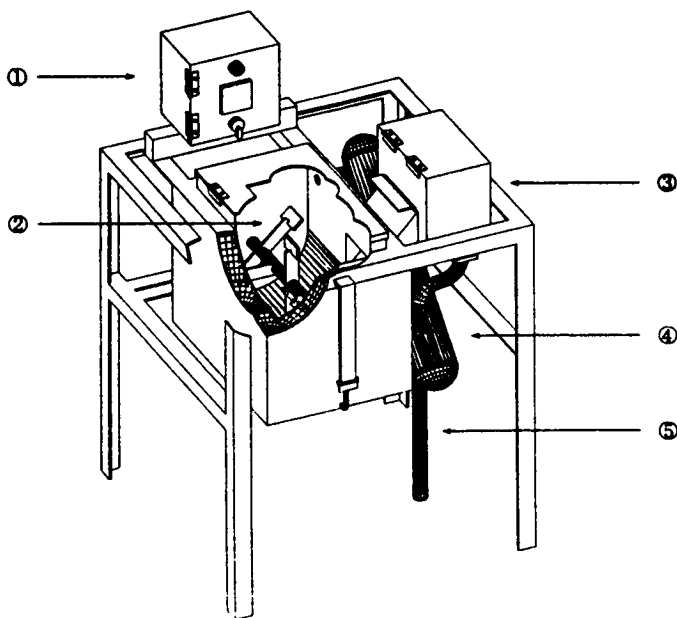
본 실험에 사용된 실험장치는 그림 1과 같이 설계·제작하였으며 크기는 680×700×840 mm, 내용적은 33ℓ이다. 내부장치로는 6rpm의 모터가 연결된 교반축에 회전 날개 6개가 부착되어 있으며 측면에는 Control Box, 가온송풍장치를 부착하였고, 하단에 퇴비배출구, 수분방출구 등을 부착하였다.

시료는 동신대학교 소재 구내식당에서 발생하는 음식물쓰레기를 수거하여 자연건조를 시킨 후 변질을 막기 위하여 4°C상태에서 보관하였으며 Bulking agent로서 톱밥을 이용하였다.

pH는 농업기술연구소에서 발행한 토양화학분석법에 따라 건조시료와 증류수를 1g:5ml의 비율로 1시간동안 교반한 후 여과하여 그 여액을 측정하였으며 수분은 적외선 수분계를 사용하였고 C와 N은 CHN Analyzer를 사용하여 측정하였다. 각각의 실험조건은 아래의 표 1과 같으며 pH와 수분은 4시간마다 측정하였고, 탄소와 질소는 0, 2, 4, 8, 16, 32, 56시간 단위로 측정하였다.

Table 1. Conditions of Composting.

Variable Conditions		Constant Conditions
· Temperature (°C)	50	· Moisture : 60% · Initial C/N ratio : 25
	60	
	70	
· Moisture (%)	50	· Temperature : 60°C · Initial C/N ratio : 25
	60	
	70	
· C/N ratio	15	· Temperature : 60°C · Moisture : 60%
	25	
	35	



① Thermo-controller ② Agitator ③ Injection ④ Heating aeration instrument ⑤ Moisture charge

Fig. 1. The structure of composting reactor.

3. 결과 및 고찰

3.1 수 분

수분함량과 산소이용율과는 밀접한 관계가 있다. 높은 수분함량은 입자간의 공극이 줄어들어 공기의 확산이 힘들기 때문에 퇴비화 초기에 악취를 발생시키고 퇴비의 온도를 하락시키며 침출수 발생의 우려와 함께 혐기성 상태가 될 수 있으므로 송풍량을 높여 주어야 하는 문제가 생기고, 40% 이하의 수분함량에서는 미생물이 소비할 수용성 영양물질의 양이 감소하므로 활성도가 저하된다고 알려져 있다.

따라서 이번 실험은 고속퇴비화시 수분의 최적 조건을 알아보기 위하여 수분을 50, 60, 70%로 나누어 3차례에 걸쳐 실험을 행하였으며 이때 다른 환경들은 지금까지 문헌을 통하여 밝혀진 최적조건인 C/N비 25, 온도를 60°C로 조절해 주었다.

그림 2에 주어진 수분에 따른 시간대별 pH변화를 도시하였다. 36시간후의 pH는 4.98~6.33 정도로 다소 낮은 pH 범위를 나타냈고 60%는 초기에 pH가 감소하는 경향을 보였는데 이는 유기산의 생성결과로 보이며 28~36시간 사이에 가파른 상승곡선을 볼 수 있다. 이는 NH₃의 다량발생 때

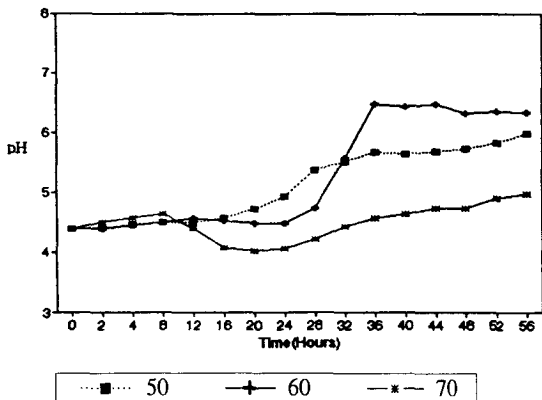


Fig. 2. Variations of pH during composting of garbage in Moisture control experiments.

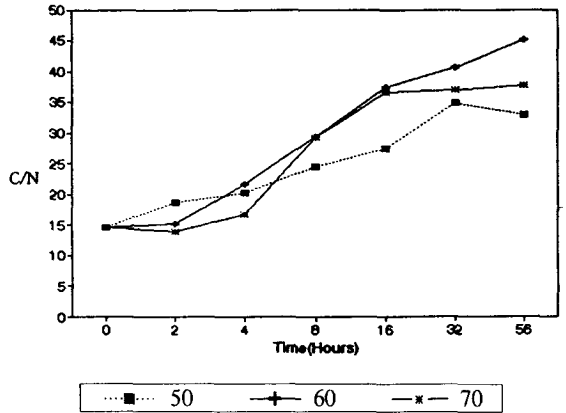


Fig. 3. Variations of C/N ratio during composting of garbage in Moisture control experiments.

문으로 생각되며 36시간이후 상승곡선이 주춤한 것은 미생물이 소비할 영양물질이 감소하여 퇴비화가 거의 끝났기 때문으로 판단된다. 또, 70%는 공기의 공급이 원활히 진행되지 못한 결과 혐기성 반응이 진행된 것으로 사려되어 과다한 수분은 퇴비화에 악영향을 미친다는 사실을 알 수 있었다.

그림 3은 C/N비의 변화를 나타내주는 것으로서 지속적인 C/N비의 상승이 그려지고 있으며 60>70>50%의 순서를 보이고 있다. 보통 C/N비는 퇴비화과정을 거치면서 감소하는 것으로 알려져 있으나 초기 C/N비가 낮은 하수슬러지나 분뇨슬러지, 음식물쓰레기 등의 C/N비가 초기값보다 증가하는 경우가 있으며, C/N비의 증가는 고온에서의 질소손실이 유기물(탄소)분해율보다 클 때 (Zucconi 등, 1987), 또는 퇴비물질내에 상대적으로 안정한 상태의 탄소화합물과 분해용이한 질소화합물을 함유하고 있을 때 나타날 수 있다 (Chino 등, 1983)고 보고한 바 있다. 본 실험은 톱밥을 첨가한 실험으로서 톱밥내에 다량 존재하는 리그노셀룰로스 등 분해가 어려운 유기물로 인하여 상대적으로 질소의 소모가 많아 C/N비가 상승한 것으로 생각되며 이는 Zucconi의 실험과 부합되는 결과라고 판단된다.

3.2 온도

적절한 온도의 유지는 미생물의 생육환경을 조 건화하여 미생물을 선택적으로 생육시킬 수 있다. 미생물이 생존 가능한 온도범위는 크게 저온대 (Cryophilic, 5~10°C), 중온대 (Mesophilic, 10~45°C), 고온대 (Thermophilic, 45~70°C) 의 세가지로 나눌 수 있으며 퇴비화 과정에서의 온 도상승은 유해미생물과 잡초의 종자를 죽이고 Virus를 불활성화하며 발효속도를 높임과 동시에 수분증발을 가속화 할 수 있다.

이 실험은 고속퇴비화시 온도의 최적조건을 알 아보기 위하여 50, 60, 70°C로 나누어 3차례에 걸쳐서 실험을 행하였으며 이때 수분은 4시간마다 측정하여 60%를 유지시켜 주었고 초기 C/N비는 25로 조절해 주었다.

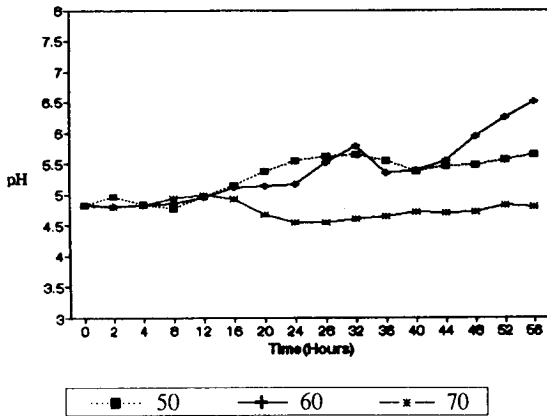


Fig. 4. Variations of pH during composting of garbage in Temperature control experiments.

그림 4는 반응온도에 따른 시간대별 pH 변화를 도시한 것으로 4.80~6.49까지의 변화를 나타내 고 있다. 60°C의 pH 상승이 가장 높음을 볼 수 있으며, 70°C에서의 pH 변화율은 실험 초기보다 종결시에 더 낮은 수치를 나타내고 있다. 이는 우리나라 평균 토양의 pH인 5.7~5.8보다 더욱 낮

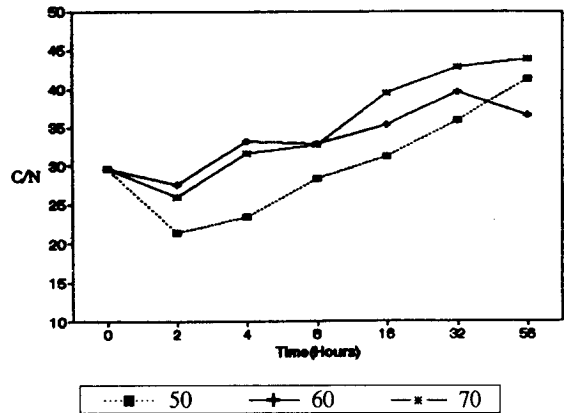


Fig. 5. Variations of C/N ratio during composting of garbage in Temperature control experiments.

은 수치를 기록하여 지나친 고온은 오히려 퇴비화 에 악영향을 끼친다는 것을 알 수 있었다.

그림 5는 C/N비의 변화를 도시한 것으로서 세 가지 실험 모두 지속적으로 상승하고 있음을 볼 수 있으며 70°C>50°C>60°C의 순서를 보이고 있으 며 모두 질소소실의 우려가 있음을 알 수 있었다.

3.3 C/N비

C/N비는 미생물의 분해대상인 유기물의 특성을 나타내는 것으로 미생물 단위 개체당 먹이가 어느 정도 공급되고 있는가를 나타내는 척도가 되며 적 정 C/N비는 문헌에 따라 다소 차이가 있으나 일 반적으로 25~30으로 알려져 있다. 만일 C/N비가 적정치보다 높게 되면 유기물질의 분해율이 느리게 진행되며, 질소소실의 우려가 있다.

고속퇴비화시 C/N비의 최적조건을 알아보기 위 하여 초기 C/N비를 25로 조절해 주었으며 이때 수분은 4시간마다 측정하여 60%를 유지시켜 주었 고 온도는 60°C로 맞추어 주었다.

그림 6은 C/N비의 조절에 따른 pH의 변화를 나타낸 것으로 6.35~7.75까지 변화를 보였다. C/N비 25는 2~4시간째에, 15와 35는 16~24 시간에 갑작스런 감소현상을 볼 수 있는데 이는 유

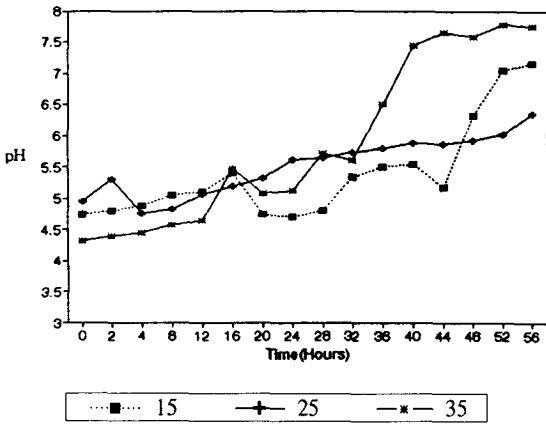


Fig. 6. Variations of pH during composting of garbage in C/N ratio control experiments.

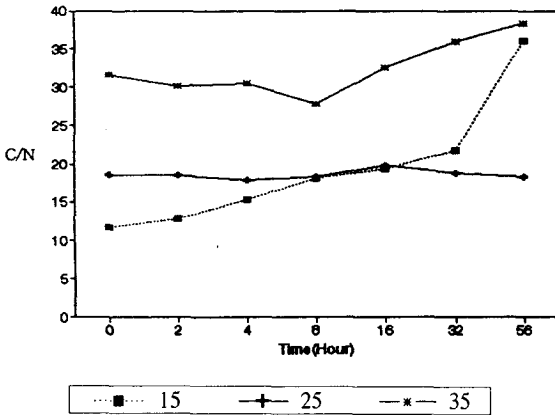


Fig. 7. Variations of C/N ratio during composting of garbage in C/N ratio control experiments.

기산의 생성결과로 판단된다. 또 C/N비 15와 35의 pH가 높은 것은 NH₃의 발생이 많았음을 추측할 수 있게 한다.

그림 7은 C/N비 변화를 나타낸 것으로 C/N비 15와 35는 C/N비의 상승이 높은 것을 볼 수 있으며 반대로 C/N비 25는 오히려 C/N비가 18.59에서 18.34로 0.25 하락하는 결과를 가져왔다. 이는 그림 6의 pH변화와 일치한다.

결과적으로 C/N비의 실험에서 C/N비 15와 35

는 질소의 소비가 많아 질소소실의 우려가 크고 따라서 C/N비는 25 정도가 적당한 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 음식물쓰레기를 대상으로 하여 퇴비화하는데 각 조건을 비교·검토하여 최적조건을 알아보기 위한 실험이었으며 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 수분을 조건으로 한 실험에서 pH는 60%가 가장 높게 나타났으며 70%는 과다한 수분의 첨가로 공기의 공급이 원활히 진행되지 못하여 혐기성반응이 진행된 것으로 판단된다. C/N비는 지속적으로 상승하는 결과를 나타냈다.
2. 온도를 조건으로 한 실험에서 pH변화는 60°C > 50°C > 70°C의 순이었으며 지나친 고온은 오히려 퇴비화에 악영향을 끼침을 알 수 있었다. C/N비는 수분을 조건으로 했을 때와 같이 지속적으로 상승하였다.
3. C/N비를 조건으로 한 실험에서 pH변화는 C/N비 25의 변화가 가장 적었으나 이는 우리나라 평균토양의 pH인 5.7~5.8보다 높은 수치인 6.32를 기록하였으며 C/N비 15와 35는 질소의 소비가 많아 질소소실의 우려가 큰 것으로 드러났다.

이상의 실험을 종합하면 수분은 50~60%, 온도는 60°C, C/N비는 25 정도가 적합할 것으로 판단된다. 본 실험은 음식물쓰레기와 톱밥만을 섞은 실험으로서 영향조건을 잘 조절해 준다면 56시간안에 퇴비화가 가능할 것으로 판단되며, 보다 양질의 퇴비를 얻고자 할 때에는 부숙이 필요할 것으로 생각된다. 아울러 대부분의 실험이 질소소실의 우려가 있으므로 토양에 시용할 경우 질소비료를 첨가하거나 단위면적당 사용량을 조절해주는 등의

대응이 있어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 차병훈, 이시진, 김남천, 음식물쓰레기 고속 퇴비화 공법에 있어 효과적인 Bulking agent 에 관한 연구 I, 한국폐기물학회지, Vol. 13, No. 4, pp.329-338(1996).
2. 환경부, 전국 폐기물발생 및 처리현황(1995).
3. 신항식, 폐기물의 퇴비화 기술, 제1회 화학공학기반교육(1995).
4. Lui, F. Diaz 외 3인, Composting and Recycling Municipal Solid Waste, Lewis Publishing.
5. 한국 유기성폐기물 자원화협의회, 유기성폐기물의 자원화 기술, 동화기술(1994).
6. 藤田賢二, Composting化 技術, 技保堂 出版(1993).
7. 김남천, 퇴비화의 이론, 유기성폐기물자원화지, Vol. 2, No. 2, pp.161-176(1994).
8. 藤田賢二, Composting化 處理, 일본폐기물학회지, Vol. 5, No. 3, pp.243-254(1994).
9. Schulze, K.L., Continuous thermophilic composting, Compost Sci. Vol. 3, No. 1, pp.22-33(1962).
10. K. Nakasaki, M. Shoda, and H. Kubota, Effect of Temperature on Composting of Sewage Sludge, Applicant and Environment Microbiology, Vol. 50, pp.37-42(1985).
11. Gray, K.R., Sherman, K., and Biddestone, A.J., Composting-process parameters. The Chemical Engineer, Feb., pp.71-76(1973).
12. 신항식, 황응주, 정연구, 음식쓰레기 퇴비화 시 Bulking agent의 적정 첨가량 결정에 관한 연구, 유기성폐기물자원화 Vol. 2, No. 1, pp.75-86(1994).
13. 김필주, 장기운, 민경훈, 음식물찌꺼기 고속 발효기에 의해 처리된 퇴비의 안정성 검토, 유기성폐기물자원화지, Vol. 3, No. 1, pp.35-42(1995).
14. 김병태, 공기공급제어에 따른 고품폐기물 퇴비화의 공정효율 분석, 박사학위논문(1994).
15. 정준교, 음식쓰레기 퇴비의 숙성도 평가, 석사학위논문(1995).
16. Lui, F. Diaz 외 3인, "Composting and Recycling Municipal Solid Waste", Lewis Publishing.
17. 이은경, 정재춘, "첨가제를 달리한 음식쓰레기의 퇴비화에 관한 연구", 대한환경공학회, Vol. 16, No. 8, 953-962(1994).
18. Gray, K.R., Sherman, K., and Biddestone, A.J., "Composting-process parameters", The Chemical Engineer, Feb., 71-76(1973).
19. Finstein, M.S., and Morris, M.L., "Microbiology of municipal solid waste composting", Adv. Appl. Microbiol., 19, 113-151(1975).
20. Kiyohiko nakasaki, Hideki yaguche, Yasushi sasaki, and Hiroshi kubota, "Effects of C/N ratio on Thermophilic Composting of Garbage", Journal of Fermentation and Bioengineering. Vol. 73, No. 1, 43-45(1992).
21. 정준교, "음식쓰레기 퇴비의 숙성도 평가", 석사학위논문(1995).
22. 강창민, "농수산폐기물의 기계식 퇴비화에 관한 연구", 석사학위논문(1987).
23. 藤田賢二, "Composting化 技術", 技保堂 出版(1993).