

음식물찌꺼기의 재활용에 관한 연구 — 퇴비화로서 —

김 남 천

서울보건전문대학 환경관리
경기도 성남시 수정구 양지동 212번지(우 461-250)

A Study on Recycling of Food Garbage — For Compost —

Nam-Cheon Kim

Dept. of Environment Technology, Seoul Health Junior Colleg
212 Yangji-Dong Soojung-ku Sungnam-Si, Kyunggi-Do, 461-250, Korea

ABSTRACT

To compost the food garbage with the dry bean curd and sawdust as the bulking agents, the method of high-speed fermentation by the characteristic microorganisms group was applied. The results of experiments are summarized as follows ;

1. Korean food garbage, which is high in water content, is difficult to compost only by microorganism fermentation without the addition of bulking agents such as dry bean curd cake and sawdust.

2. Weight reduction rates are ranging from 35.6% to 64.5% and varying with the composition of food garbage. The less weight reduction rate is, the longer continuous-fermentation is. And the color of compost is changing sequentially as yellow -> brown -> black.

3. Comparing with the controlled microorganism group, the weight reduction rate and H_2CO_3 production rate in the characteristic microorganism group fermentation reactors are higher. And the fermentation rate is satisfactory when the characteristic microorganism group is added.

4. The value of fermented composting as fertilizer diminishes, and the contents of Total Nitrogen, P_2O_5 , K_2O increase on the condition that the fermentation continues. However, the organic contents and C/N ratio diminish as the fermentation continues.

5. The high-speed fermentation technology demonstrates the possibility of recycling as well as the reduction of composting time provided that it is applied as a pretreatment process for composting.

초 록

본보는 종합병원에서 발생하는 유기성쓰레기인 음식물찌꺼기를 미생물에 의해 고속발효공법을 동원하여 24~48시간 이내에 퇴비 또는 토양개량제로 전환시키기 위한 중간처리방법이 된다.

처리를 위한 발효조건은 함수율이 60%, 발효온도는 50~60°C, 산소공급을 위한 송풍량은 50~200L/min·m³ 정도가 필요하다. 함수율을 60%정도로 조정하기 위해서 두부비지와 톱밥을 사용하였고 고속발효에 필요한 미생물균주는 호기성 균주로서 발효물의 전체중량의 1/300정도 투입하였다. 운전방법은 1차발효가 끝난 다음 감량 및 인출량을 체크하고 그 상태에서 새로운 음식물찌꺼기를 투입하는 형식을 취하였다.

발효물에 대한 감량은 비교군과 실험군에서 각각 56.6%와 35.6~47.7%를 나타내었고 발효물에 대한 감량은 bulking agent에 따라 차이가 다소 있었으나 대략 50% 수준이었다. 발효시에 발생하는 탄산가스 농도는 1,000~1,500ppm 정도였고 연속발효일수록 황색에서 갈색, 검은색으로 변하였다.

발효물에 대한 퇴비화의 이화학적 분석에서는 pH는 약산성, 함수율은 10%미만이었고, 수분조정제에 따라 퇴비화 시간과 T-N, P₂O₅, K₂O에는 차이가 있었고, C/N 비에도 차이가 컸다.

보편적으로, 음식물찌꺼기를 대상으로한 고속발효하는 퇴비또는 토양개량제로서 가치는 있으나 완숙정도가 부족하기 때문에 중간처리 방법으로는 가능하다고 사료된다.

1. 서 론

얼마전까지만 해도 사람이 먹고 남긴 음식물찌꺼기는 가축사료로 이용되어 왔으나 최근들어 복잡한 교통문제와 더럽고(dirty), 힘들고(difficult), 위험한(dangerous) 일들을 기피하는 소위 3D현상으로 인해 음식물찌꺼기가 새로운 환경오염물질로 등장하게 되었다.

현재까지는 음식물찌꺼기는 일반쓰레기와 섞여 매립장으로 운반되어 매립되고 있는 실정이다. 그런데 이 방법은 얼마정도의 시간이 지난 뒤에는 용량의 한계로 인해 일시적인 처리·처분 방법밖에 되지 못하였다. 또한, 반드시 발생하는 침출수 관리 문제 등으로 적절한 방법이 아닌 것 같다.

우리나라의 환경처(1992) 자료에 의하면 1991년말 현재, 전국 일반 폐기물 관리구역 내의 생활쓰레기 발생량은 1일 92,246톤으로 연간 33,670천톤이 배출되는데 이 중 약 28.8%인 26,311톤/일이 음식물찌꺼기, 채소류 등의 생분해성 주방폐기물로 구성되는데 거의가 일반폐기물과 섞여 매

립처분되고 있어 매립지 확보의 어려움 및 공중위생 등의 사회적 문제를 가중시키고 있는 실정으로 적절한 처리 및 관리대책이 시급한 시점에서 1992년 12월에 환경처(1992)에선 폐기물과 쓰레기의 재활용과 감량화 정책의 일환으로 “자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률”을 입법화하기도 하였다.

이 법률내용 중에는 음식물찌꺼기가 일정규모 이상의 발생원에 대해서 사료화 및 퇴비화 등의 중간처리시설을 94년 9월 1일부터 의무적으로 설치하게 되어 있기도 하다.

중간처리 시설에는 소각, 탈수, 미생물에 의한 발효공법 등이 있는데 모두가 쉽지는 않다. 발생원의 60% 이상이 대중음식점, 시장 및 집단급식소 등에서 주로 배출되는데 수분함량이 75~85%로 높고 발열량이 낮아 소각에 의한 처리법을 적용하기에는 경제적이기 못한 것으로 알려져 있다.

한편, 생활폐기물 중 연탄재를 제외하고는 주방폐기물량은 약 40%에 달하며 성분은 유기성이므로 퇴비화, 사료화, 연료화 등의 재활용이 가능한 대표적인 성분으로 이 중에서 우리나라의 발생

치의 규모나 양상, 질이나 성분 등을 고려할 때 퇴비화 공법이 실제 적용에 가장 적합한 것으로 거론되고 있다.

그래서 본 연구에서는 채소류가 포함된 음식물 찌꺼기를 대상으로 소규모 퇴비화 장치를 제작하여 짧은 시간(24~48시간)에 퇴비화 시키는 공법을 현장성과 실용성에 초점을 두고 국민보건 향상과 환경오염방지 측면 및 기존 쓰레기 매립장의 매립연한을 연장시키는 물론 기존의 유기퇴비 보조제 및 토양개량제로 전환시키는데 목적을 두고 연구하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 퇴비화 장치의 기계적 구조

본 실험에 사용되었던 퇴비화 장치(이하, 고속 발효조라고 한다)의 외형과 내부구조는 Fig 1과 Fig 2에 나타내었다. 재질은 3mm 두께의 Sus

304로 내부가 원통형으로서 조의 용량은 100L, 외형치수(L W H m/m)는 860 710 860의 직사각형으로 제작되었다.

원통형의 발효조 내부에는 가로지르는 shaft 축이 electric motor에 연결되어 있고, shaft 축에 고정된 교반날개가 부착되어 회전될 때 연속교반이 이루어 지도록 견고하게 제작되었다(Fig 2 참조). Shaft 축의 cutting knife는 고형화된 큰 덩어리 또는 비교적 큰 음식물찌꺼기를 잘게 부수지게 하는 역할을 하게 되며, 발효에 필요한 산소량을 확보하기 위해 흡기구가 있고 발효 중에 발생하는 각종 가스 및 수분을 조외로 확산시키는 배기구가 있다. 시료(음식물찌꺼기)의 투입구와 발효물이 인출되는 취출구가 있다. 그리고 고속발효를 위한 온도유지를 위해 발효조 외측에 히팅코일을 부착시켰고, 모든 작동은 자동으로 운전이 이루어 지도록 제작되었다.

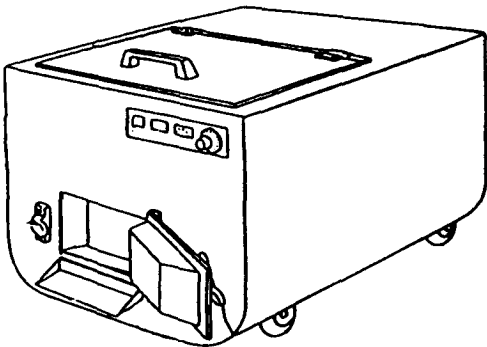


Fig. 1 External form of the rapid fermenting tank.

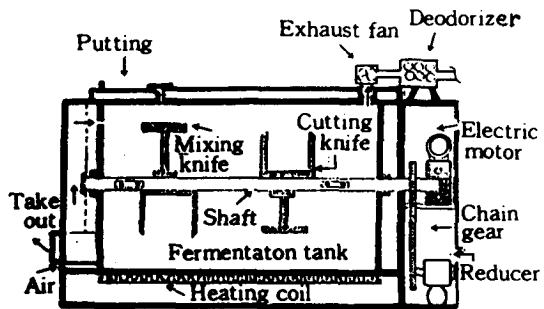


Fig. 2 Cross-sectional view of fermenting tank.

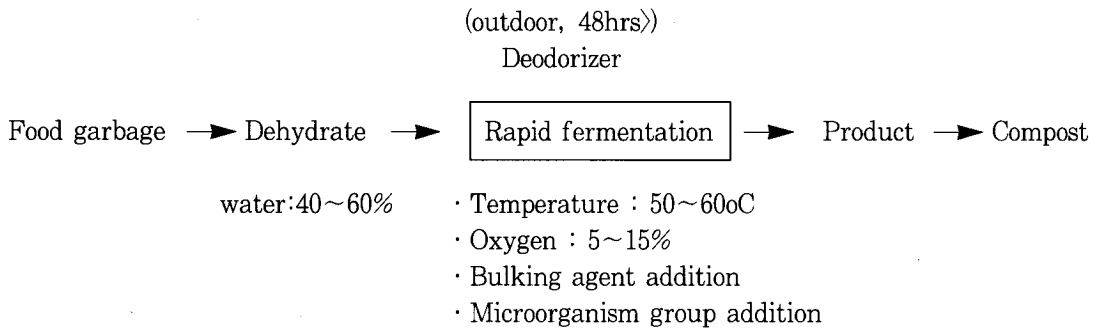


Fig. 3 Flow diagram of composting process

2.2 고속발효에 의한 퇴비화 공정

고속발효에 의한 퇴비화 과정은 Fig. 3과 같다. 주방에서 생긴 음식물찌꺼기는 가능하면 “국이나 탕류” 중의 물 성분은 구분해서 소쿠리에 담아 약 1~2시간 정도 자연탈수시켜 고속발효조에 투입한다. 만약 함수율이 60%이상일 경우에는 수분조정제(bulking agent)로서 건조비지, 톱밥, 으깬 왕겨, 사용된 생리대 및 기저귀 등으로 함수량을 조정한다.

발효조에 투입하는 음식물찌꺼기의 양은 수분조정제의 양을 포함해서 조용량의 2/3정도 투입하고 고정화된 호기성 미생물균은 투입량의 1/300 ~ 1/600 정도 투입한다.

그리고 50~60°C의 운전조건에서 24시간정도 운전한다. 운전이 약 3~4시간 지나면 음식물의 형태는 거의 볼 수 없게 되며 약 12시간 정도 경과하면 함수율이 30~40%가 된다. 24시간 지나면 함수율이 30%정도가 되었을 때 새로운 음식물찌꺼기를 투입시킨다. 이 때에는 수분조정제의 투입은 하지 않아도 된다. 이런 조작을 연속적으로 운전하게 되면 발효조 내의 발효물은 쌓이게 된다. 발효물이 조용량의 2/3가 될 때 발효물을 인출하게 된다.

한편 발효 중에 발생하는 발효가스과 수분은 배기구를 통해 탈취기내로 흡수시키므로써 어느 정

도의 악취는 제거된다.

Fig 3에서 미생물군(microorganism group)은 가수분해효소를 생산하는 기능을 가진 3종류의 미생물군속과 유용식물의 성장점세포나 야성과 실 중에서도 특히 식물성 효소를 함유한 것을 택해서 이들의 엑기스를 추출한 유기물을 배양기로서 공생 발효시켜, 미생물 증식과 고정화를 동시에 행하여 제조한 발효미생물이다. 상기 3종류의 미생물로는 Lactobacillus속, Aspergillus속, Toula속을 이용하고 있다.

한편, Willsonetal. (1980)도 여러가지 부숙방법에 대한 연구가 있었는데 특히 미국에서 개발된 Beltsville aerated pile method는 야외에서 연속적으로 부숙이 가능하다는 장점이 있고, Willson et al. (1980)과 Kurihara (1982)와 宋(1986) 등과 University of California at Berkely(1953)에서는 하수 슬러지를 부숙시키기 위해 슬러지에 bulking agent로 톱밥(sawdust)을 혼합해서 수분을 60~70%, C/N을 25~30으로 조정한 다음 플라스틱 관으로 만든 공기 흡입장치 위에 퇴적하고, 퇴적표면을 완속된 퇴비를 피복하여 퇴적내 수분 보지, 냄새취산 방지 및 강우에 의한 퇴적물의 붕괴를 방지하면서 대기의 산소를 흡입장치에 의해 퇴적 내로 흡입하여 퇴적 내 산소를 5~15%로 유지시켜 퇴적 내 발효

온도를 60~70°C로 유지하여 속성으로 부숙시켰다.

2.3 고속 퇴비화 공정의 운영인자

특히 Shuhei(1993)는 잔반을 대상으로 "Garbage Composting"에서 효과적으로 통제하기 위한 주요 운영인자로서는 폐기물 내의 함수율(%), 발효온도, 폐기물 내의 C/N비율, 공기 공급, pH, 미생물 등이라고 했다. Goluek et al.(1987)과 황(1970) 등은 퇴비화공정에서 운영인자를 제시했고 수분이 없는 상태는 미생물의 활성이 불가능하기 때문에 미생물의 활동상태를 유지시키기 위해서는 수분조절이 필요하다. 수분함량이 40~60% 정도가 적합한 것으로 알려져 있으며 수분함량이 70% 이상이 되면 기계식 발효조 내에서 교반중인 침출수가 발생할 수 있으며 아울러 발효물이 죽처럼 되기 쉬워 산소공급을 어렵게 하여 부패하게 된다. 수분상태가 40% 이하가 되면 미생물 활동에 지장을 주며 미생물은 휴면 상태가 된다.

퇴비화 과정에서 발효온도는 퇴비화의 진행여부와 퇴비화 시간을 나타내는 지표로서 중요한 인자이다. 일반적인 퇴비화는 발열반응이 필수적이다. 즉, 분해가능한 물질이 분해되는 과정은 발열반응이므로 온도상승은 분해작용이 일어나는지의 여부를 판단하는 기준이 된다. 또한, 악취는 혐기성 상태에서 더욱 발생하는데 고온 발열반응은 호기성 조건에 접근하여 퇴비화가 진행되고 있음을 나타내는 지표이다. 고속발효의 최적온도는 55~60°C이나 폐기물의 질적조성에 따라 70°C를 넘는 경우가 흔하다. 이때는 공기 공급량을 증가시킴으로서 온도를 60°C미만으로 유지시킬 필요가 있다. 특히 곰팡이의 활동상태는 60°C를 넘으면 거의 활동이 중단되는 것으로 알려져 있다. 이외에 50~60°C 온도조절은 병원균 사멸효과도 있게 된다.

C(탄소)는 퇴비미생물의 에너지원이며 N(질

소)는 미생물체를 구성하는 인자이므로 즉 C/N비는 미생물 단위개체당 먹이가 어느정도 공급되는가 하는 척도를 나타낸다. 예를들면, C/N비가 높으면(80 이상) 질소결핍현상으로 퇴비화 반응이 느려지고 발효온도가 상승되지 않는다. 반대로 C/N비가 낮으면(20 이하 정도) ammonification(유기질소→NH₃로 되는 것) 현상에 따라 악취발생 가능성이 있고 퇴비화 반응이 느려진다. 최적 C/N비는 발효 초기를 기준으로 25~40 정도로 알려져 있다.

한편, 공기공급률은 퇴비화 과정에서 발효대사에 필수적인 것으로서 이외에 발효온도를 조절하거나 수분증발의 역할을 담당하게 되는데 너무 많은 공기량은 퇴비화 과정을 방해할 수도 있는데 가장 바람직한 공기공급은 자연 순환 공기공급이다. 일반적으로 5~15%의 산소가 퇴비물질 공극 내에 머물게 하면 된다. 이를 위해 공기 주입은 50~200L/min.m³ 정도가 적합하다.

기계식 발효조의 경우 발효온도가 60°C가 넘게 되면 공기공급량을 증가시켜 발효온도를 60°C가 되도록 조정이 필요하다. pH는 중성부근이 최적이며 발효가능한 pH는 5.5~5.8정도이다. pH가 8.5 이상이면 NH₃가 휘산하여 퇴비가치가 떨어진다.

2.4 시료(음식물찌꺼기)의 채취

실험을 하기 위해 사용된 음식물찌꺼기는 경기도 성남시 소재 인하대학병원(병상수 500개, 취식인수 700여명) 주방에서 입원환자가 먹고 남긴 음식물찌꺼기와 한양대학병원 음식물찌꺼기를 아침, 점심, 저녁 시간대별로 3일간 3회 채취한 후 즉시 본 대학 실험실로 운반하여 병원별로 혼합시켜 대기온도에 따른 변화를 최대치로 막기 위해 지하실 창고에 보관하면서 필요한 양을 분취하여 시료로 사용하였다. 일반적으로 육안으로 볼 때 한양대학병원 음식물찌꺼기에는 생선류와 육류가 많이 보였다.

2.5 고속발효조 운전방법

Table 1과 2는 인하대학병원과 한양대학병원 주방에서 채취한 음식물찌꺼기를 갖고 고속발효조에 투입한 조건을 나타낸 것이다.

Table 1을 예를 들어 설명하면 다음과 같다. 건조비지(dry bean curd cake)를 bulking agent로 사용했을 경우, 함유율이 81.2%의 음식물찌꺼기 25kg에 함유율이 9.3%의 건조비지

Table 1 Fermenting condition of food garbage from the In-Ha University Hospital

Bulking agent of	Item Exp. div.	Water content of food garbage(%)	Food garbage(kg)	Inoculam added(g)
		Water content bulking agent(%)	Bulking agent(kg)	
Dry bean curd cake	Control, G	82.2//9.3	21//18.9 (39.9)	-
	Test, G(1st, fer.)	81.2//9.3	25//20 (45)	150
	Test, G(2nd, fer.)	80.8//3.0	31//19 (50)	-
	Test, G(3rd, fer.)	80//15.0	25//34 (59)	-
Sawdust	Control, G	82//31.3	21//15 (36)	-
	Test, G(1st, fer.)	80.4//20	20//20 (40)	133
	Test, G(2nd, fer.)	85//28.7	20//16 (36)	-
	Test, G(3rd, fer.)	85//20.7	18//18 (36)	-

Table 2 Fermenting condition of food garbage from the Han-Yang University Hospital

Bulking agent of	Item Exp. div.	Water content of food garbage(%)	Food garbage(kg)	Putting of Bacteria group(g)
		Water content bulking agent(%)	Bulking agent(kg)	
Dry bean curd cake	Control, G	82.2//9.3	25//18.9 (43.9)	-
	Test, G(1st, fer.)	75//27.3	25//14.4 (39.4)	132
	Test, G(2nd, fer.)	75//18.8	25//9.1 (34.1)	+30
	Test, G(3rd, fer.)	81//12	25//11 (59)	+30
Sawdust	Control, G	82//31.3	21//15 (36)	-
	Test, G(1st, fer.)	75//31.3	25//13.1 (36.1)	126
	Test, G(2nd, fer.)	75//17.6	25//11.8 (36.8)	+30
	Test, G(3rd, fer.)	81//21.1	25//13.5 (38.5)	+30

를 bulking agent로서 20kg을 혼합시켜 전체량이 45kg이 되었고 공급 미생물군의 양은 150g이었다(1st, fer. 참조). 미생물군을 공급하지 않은 발효실험을 대조군(control group)으로 했고, 본 연구에서는 1차 발효(1st, fer.)가 끝난 다음 발효물에 대한 전체량과 함수율을 측정하고 1차 발효산물을 bulking material로 해서 새로운 음식물찌꺼기와 혼합시켜 미생물군을 넣지 않은 상태에서 운전을 계속하였다. 이를 2차 발효(2nd, fer.)라 한다. 3차 발효도 전과 같은 요령으로 한다.

Table 2의 미생물군 공급량에서 +30이란, 1차 발효가 끝나고 2차 발효일때 고정화 미생물군 30g을 추가 공급했음을 의미한다.

2.6 측정 및 분석방법

발효전의 시료(음식물찌꺼기)와 bulking agent의 조단백질, 조지방, 조섬유, 조회분, Ca, P, pH 분석은 농림수산부의 사료 표준분석법(1987)에 의해 분석되었고, bulking agent 중 톱밥과 발효물에 대한 pH, 총질소(T-N), 총인(P₂O₅), 총칼리(K₂O), 유기물 함량, 회분, C/N비, 수은, 칼슘, 마그네슘, 비소, 소금(NaCl) 등은 國立農業資材検査所の 肥料検査要領(1987)에 의해서 분석되었으며 이들 중 T-C, T-N, C/N비는 건물중으로 환산되었으며 모든 시료에 대한 함수율은 환경오염 공정시험법의 폐기물 분석법(1992)에 준하였으며, 발효중의 탄산가스, 암모니아가스 측정은 검지관(Gastec, Made in Japan)으로, 온도 체크는 delta digital 온도계(model SK-1250 MC, 日本 SATO社)로 2시간 마다 체크하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 실험에 사용된 시료의 성상

Table 3에는 본 연구에 사용된 음식물찌꺼기

의 성상을 나타내었는데 채취시간대별로 심한 변동폭을 보였으나, 평균적으로 함수율은 84.16%, TKN과 TOC는 3.53%와 42.0%였고 C, H, O, N, S는 각각 43.2%, 6.7%, 33.9%, 3.46%, 0.23%였으며 또한 Ca와 P는 1.42%와 0.23%였다. 이때 NaCl함량은 대략 1.31%였다. 음식물찌꺼기를 크게 나누면 주식이 50%, 야채류가 40%, 동물성이 10% 정도의 비율로 혼합되어 있었다. 한편, 병원에서는 환자 1인당 음식물찌꺼기 발생량이 0.94kg/day로 조사되었다.

실험에 사용된 음식물찌꺼기의 C/N비는 11.89 정도이다. 신(1993)에 의하면 건조 전의 함수율은 85%, 건조 후에는 22.7%, C/N비는 9.42, 유기물 함량은 건조 중량으로 82.5 정도라고 했다.

3.2 Bulking agent 자체의 성상

실험에 사용된 bulking agent는 건조 두부비지와 톱밥이었다. 건조 두부비지는 두부공장에서 채취 후, 실험실로 운반하여 발효조 내에서 2일간 열건조 시켰다. Table 4에는 건조 두부비지에 대한 조성인데 2회 분석한 후의 평균치를 나타낸 것이다. 건조 두부비지 자체의 C/N비는 3.36 정도가 된다. 한편, 톱밥 자체의 성상은 pH 5.05, 탄수화물 54.5%, 총질소 0.16%로서 C/N비는 340으로 측정되었다.

3.3 퇴비생산량에 따른 운전결과

Table 5와 6은 인하 및 한양대학병원의 음식물찌꺼기를 고속퇴비화 시켰을 때 생산량과 그외의 운전결과이다.

Table 5와 6에 의하면 bulking agent로 건조 두부비지를 사용했을 때, 대조군과 실험군에서의 퇴비 생산량과의 비교에서는 대조군에서 16.5kg이 생산된 반면에 실험군에서는 23.5~38kg이 생산되었다. 이와 같은 결과를 감량으로

Table 3 The composition of food garbage used(Dry mass)

(unit : %)						
Composition	Water content	T-N	TOC	C	H	O
	83.98-84.44 (84.16)	2.1-6.0 (3.53)	40.1-43.9 (42.0)	40.7-50.5 (43.2)	5.5-7.0 (6.7)	25.1-42.7 (33.9)
Composition	N	S	NaCl	P ₂ O ₅	K ₂ O	C/N
	2.1-5.0 (3.46)	0.2-0.4 (0.23)	0.98-1.82 (1.31)	- (11.89)	-	-

비교해 보면 대조군에서 58.6%가 감량되었고, 실험군 1차, 2차, 3차에서 47.7%, 47.0%, 35.6%의 감량을 보였다.

즉, 대조군보다 실험군에서 생산량이 많았고 아울러 발효가 연속될 수록 생산량이 많은 것으로 나타났다. 이와 같은 결과를 탄산가스 발생량과 발효온도와 관련시켜 볼 때 미생물의 활성에서 계대횟수가 클수록 활성이 저하되었거나 아니면 bulking material의 조성의 변화에 의해 미생물의 활성에 변화를 준 것으로 사료된다. 또한, 발효물 생산량 산출에서 발효물의 수분함량이 일정하지 않았기 때문에 정확한 발효물의 생산량을 해석하기가 쉽지 않았다.

Table 4 Composition of dry bean curd cake (dry mass) (unit : %)

Composition	Mean
Water content	5.15
Crude protein	21.80
Carbohydrate	40.90
Crude fat	10.90
Crude ash	3.50
Crude fiber	18.0
Ca	0.38
P	0.28

한편, 발효온도를 갖고 대조군과 실험군의 비교에서 현저한 차이는 없었는데 보편적으로 실험군 1차 발효에서 다소 높게 운전되었고, 연속적으로 운전되었을 때 발효온도가 약간 떨어지는 것을 볼 수 있었다. 이는 bulking material의 영향과 계대에 따른 미생물의 활성에 기인된다고 사료된다.

탄산가스의 발생농도의 비교에서는 실험군이 대조군보다 많이 발생하는 것을 볼 수 있었고 연속발효일 때 발생량은 약간 낮은 농도로 발생되었는데 이는 미생물의 계대로 균체의 활성저하와 bulking material의 질적변화에 의한 것으로 사료된다. 그리고 발효물의 색깔은 연속적인 발효가 일어날수록 황색→갈색→검은색으로 변하는 것을 볼 수 있었다.

Bulking agent로 톱밥을 사용했을 때 대조군에서의 감량은 13.9%였고, 실험군에서 1차, 2차, 3차 연속발효에서 47.7%, 45.8%, 48.6%의 감량을 보여 결국 실험군에서 생산량이 훨씬 적었다. 이 경우에는 발효가 연속될수록 생산량은 적었다. 대조군에서 13.9%의 감량이란 발효개념보다는 건조개념으로 보아야 될 것 같다.

한편, Table 6에서는 한양대학병원 음식물찌꺼기 발효결과인데 2차, 3차 연속발효때마다 소량의 미생물군을 추가 공급해서인지 발효시간도 인

Table. 5 Operation results of the food garbage from In-Ha University Hospital

Bulking agent	Item Exp. div.	Product (kg) (reduction rate, %)	Fermentation time (hrs)	CO ₂ product (max. ppm)	Fermentation temp. (°C) mean (max)	Consum- ption elec. (Kw)
Dry bean curd cake	Control, G	16.5 (58.6)	46	900	52 (56)	-
	Test, G (1st, fer.)	23.5 (47.7)	40	1,500	52 (60)	63
	Test, G (2nd, fer.)	26.5 (47.0)	40	1,300	46 (54)	48
	Test, G (3rd, fer.)	38.0 (35.6)	40	1,000	51 (54)	40
Sawdust	Control, G	31 (13.9)	48	700	49 (55)	59
	Test, G (1st, fer.)	21 (47.7)	48	1,100	51 (55)	69
	Test, G (2nd, fer.)	19.5 (45.8)	39	1,000	48 (51)	39
	Test, G (3rd, fer.)	18.5 (48.6)	48	1,000	52 (54)	50

Table. 6 Operation results of the food garbage from Han-Yang University Hospital

Bulking agent	Item Exp. div.	Product (kg) (reduction rate, %)	Fermentation time (hrs)	CO ₂ product (max. ppm)	Fermentation temp. (°C) mean (max)	Consum- ption elec. (Kw)
Dry bean curd cake	Control, G	16.5 (58.6)	46	900	52 (56)	-
	Test, G (1st, fer.)	14 (64.5)	47	1,500	53 (60)	68
	Test, G (2nd, fer.)	18 (47.2)	35	1,400	51 (55)	49
	Test, G (3rd, fer.)	16.5 (54.2)	32	1,200	51 (56)	49
Sawdust	Control, G	31 (13.9)	48	700	49 (55)	59
	Test, G (1st, fer.)	14 (63.2)	48	1,100	50 (59)	68
	Test, G (2nd, fer.)	17 (53.8)	36	1,000	49 (52)	49
	Test, G (3rd, fer.)	18.5 (51.9)	36	1,000	49 (53)	49

하대학병원 음식물찌꺼기 발효때보다 약간 단축되었으며 보편적으로 발효물의 생산량도 적었고 탄산가스 발생량도 약간 많았다. 톱밥을 bulking agent로 사용했을 때에도 인하대학병원 음식물찌꺼기를 발효시킬 때 보다 발효 결과가 약간 좋았다.

3.4 퇴비화 가치성 분석

Table 7과 8은 bulking agent를 건조 두부 비지 및 톱밥을 사용해서 고속발효시킨 발효물에 대한 퇴비화의 가치성 분석 데이터이다. 두 Table에 의하면 병원간에는 큰 차이가 없었으며 bulking agent 간에는 차이가 있었다. pH는 두 병원의 음식물찌꺼기 모두 5.3~5.9의 약산성을 띄

있고 연속발효의 경우에도 크게 변화가 없었으며 함수율은 공히 10% 미만이었다.

Bulking agent를 건조비지와 톱밥을 사용했을 때 총질소 함량은 대조군에서 4.02%와 1.26%로 차이가 컸고, 실험군에서는 인하대학병원 음식물찌꺼기 발효물에서 3.61~3.91%, 한양대학병원 음식물찌꺼기 발효물에서 3.54~3.86%이었다. 톱밥을 사용했을 경우는 1.93~2.07%와 1.58~2.51%로 병원간에는 비슷하였으나 bulking agent 간에는 큰 차이를 보였다. 그리고 발효가 연속될수록 총질소 함량은 높아졌는데 이는 지속적인 음식물찌꺼기의 투입으로 총질소분의 축적에 의한 것으로 사료된다.

인의(P₂O₅) 함량은 대조군에서 0.34%, 실험군

의 인하대학병원 음식물찌꺼기 발효물에서는 0.38~0.56%, 한양대학병원 음식물찌꺼기 발효물에서는 0.48~0.53%로서, bulking agent 간에는 큰 차이는 없었으나 연속발효일수록 약간씩 인산함량이 높아졌다.

카리(K₂O) 함량은 대조군에서 0.89%와 0.55%였으며 인하대학병원과 한양대학병원 실험군에서는 1.05~1.10%, 1.05~0.95%로서 큰 차이가 없었으나 톱밥을 bulking agent로 사용했을 경우에는 0.45~0.57%, 0.32~0.67%로 건조비지를 bulking agent로 사용했을 때보다 낮았다. 이는 톱밥자체에는 카리분이 적었고 반면에 음식물찌꺼기는 약간의 카리분을 함유했기 때문이다.

유기물 함량에서는 건조비지를 bulking agent

Table. 7 The analysis of food garbage compost from In-Ha University Hospital

Item	Bulking agent Exp. Div.	Dry bean curd cake			Sawdust				
		Cont, G	Test G.			Cont, G	Test G.		
			1st, fer.	2nd, fer.	3rd, fer.		1st, fer.	2nd, fer.	3rd, fer.
pH		5.6	5.5	5.4	5.4	5.6	5.5	5.9	5.5
Water content(%)		7.62	7.74	8.22	7.51	9.25	9.04	8.74	8.68
T-N(%)		4.02	3.61	3.88	3.91	1.26	1.93	1.97	2.07
P ₂ O ₅ (%)		0.34	0.38	0.48	0.56	0.38	0.42	0.50	0.52
K ₂ O(%)		0.89	1.10	1.05	1.06	0.55	0.45	0.52	0.57
OM(%)		73.81	76.65	73.24	70.01	85.07	87.63	85.75	78.90
Ash(%)		18.57	15.60	18.50	22.40	5.67	3.35	5.51	12.42
C/N ratio		18.36	21.23	18.88	17.91	67.52	45.41	43.53	38.12
*Hg		0.020	0.020	0.026	0.039	*Tr	Tr	Tr	Tr
Cd		Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr
Pb		Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr
As		Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr
NaCl(%)		1.40	1.10	1.84	2.01	1.14	1.44	2.12	2.30

Heavy Metals : ppm Tr : Trace OM : Organic Matter

로 사용했을 때 인하대학병원의 대조군에서는 73.81%, 실험군의 음식물찌꺼기 발효물에서는 70.1~76.65%, 한양대학병원 음식물찌꺼기 발효물에서는 76.44~78.19%로 나타났고, 톱밥을 사용했을 때 인하대학병원의 대조군에서는 85.07%, 실험군에서는 78.90~87.63%, 한양대학병원 음식물찌꺼기 발효물일 경우는 72.45~74.03%로 나타내었는데 병원간에는 큰 차이를 보이지 않으나 bulking agent간에는 약간의 차이를 보였는데 이는 bulking제의 특성에 기인된 것으로 보여지며, 발효가 연속일수록 유기물 함량은 대체적으로 적어지는 것을 볼 수 있는데 이는 연속발효로 인해 계속적인 발효현상에 의한 것으로 보여진다.

발효물에 대한 회분(ash) 함량은 건조비지를 사용했을 경우 대조군에서 18.57%였고, 실험군에서는 15.60~22.40%, 한양대학병원 음식물찌꺼기 발효물에서는 11.97~13.91%로 나타났고, 톱밥을 사용한 경우에는 대조군에서 5.67% 보다 높은 17.30~18.50%를 나타내었다.

한편, 유기질 비료의 가치 평가에서 흔히 쓰이는 C/N(O-Ma/N)비 건조비지를 사용했을 경우 대조군에서는 18.36, 실험군에서는 17.91~21.23, 한양대학병원 음식물찌꺼기 발효물에 대해서는 19.80~21.55를 나타내었다.

톱밥을 bulking agent로 사용했을 때 C/N 비는 대조군에서 67.52였고, 실험군에서는 38.12~45.41, 한양대학병원 음식물찌꺼기 발효물에

Table. 8 The analysis of food garbage compost from Han-Yang University Hospital

Item	Bulking agent Exp. Div.	Dry bean curd cake			Sawdust				
		Cont, G	Test G.			Cont, G	Test G.		
			1st, fer.	2nd, fer.	3rd, fer.		1st, fer.	2nd, fer.	3rd, fer.
pH		5.6	5.5	5.4	5.3	5.6	5.4	5.3	5.4
Water content (%)		7.62	9.82	9.84	9.75	9.25	8.64	8.86	9.20
T-N (%)		4.02	3.54	3.70	3.86	1.26	1.58	2.22	2.51
P ₂ O ₅ (%)		0.34	0.48	0.51	0.53	0.38	0.27	0.51	0.51
K ₂ O (%)		0.89	1.05	1.00	0.95	0.55	0.32	0.51	0.67
OM (%)		73.81	78.78	78.19	76.44	70.01	74.03	72.50	72.45
Ash (%)		18.57	13.89	11.97	13.91	5.67	17.30	18.50	18.30
C/N ratio		18.36	21.55	21.13	19.80	67.52	44.07	32.70	28.86
*Hg		0.020	0.010	0.010	0.010	*Tr	Tr	Tr	Tr
Cd		Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr
Pb		Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr
As		Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr
NaCl (%)		1.40	1.40	2.00	2.14	1.14	1.49	2.18	2.56

Heavy Metals : ppm Tr : Trace OM : Organic Matter * Control G. : In-Ha Univ.

서는 28.86~44.07로서 병원간에는 약간의 차이가 있었고, bulking agent 간에는 톱밥을 사용할 경우가 건조비지 보다 상당히 높은 C/N비를 나타내었다. 이는 톱밥자체가 갖는 셀룰로오스함량이 높음에다 질소함량이 낮기 때문이다. 또한 연속발효가 이루어 질수록 C/N비는 낮아지는데, 이는 1차 발효에서 완전발효가 일어나지 않고 계속되는 발효로 인해 유기물의 분해율은 높음에 비해 질소량은 축적되기 때문이다. 그래서 음식물찌꺼기를 퇴비화할 경우는 고속발효 시설로서 짧은 시간에 발효시킨 다음 일정시간 후속발효시켰을 때 퇴비화로서의 질적 수준이 향상될 것으로 보인다.

Elserafy(1980), 황(1970), Kurihara Kiyoshi(1982)에 의하면 일반적으로 C/N비는 25~30이 적합하다고 했는데 본 고속발효물을 퇴비화할 경우는 기존의 퇴비와 혼합해서 사용하던가, 아니면 발효조 외에서 일정시간 후속발효를 시킴으로서 퇴비화가 안정화될 것 같다.

한편, 발효물에 대한 중금속 및 토양과 작물에 비교적 영향을 많이 미치는 것은 소금(NaCl) 농도인데 건조비지를 사용했을 때 대조군과 실험군에서 두병원 음식물찌꺼기 발효물에 수은(Hg)의 금속은 검출되지 않았는데 수은만은 검출되었다. 이는 bulking제인 건조 두부비지에 미량으로

존재하는 수은함량에 의한 것으로 사료되고 인하대학병원 음식물찌꺼기가 연속발효가 될수록 수은량이 약간씩 증가를 보이는데 이는 연속발효에 의한 축적에 기인된 것으로 생각된다. 톱밥을 bulking제로 사용했을 때는 두 병원 모두 발효물에서 수은은 검출되지 않았다.

유기질 비료의 경우 유해물질 허용치가 명시되어 있지는 않으나 부산물 비료인 경우에는 명시되어 있어서, Table 9에는 정부 기준치와 본 실험의 발효물과 비교해서 나타내었다.

Table 9에서 보는 바와 같이 음식물찌꺼기를 bulking agent로 건조비지 및 톱밥을 사용해서 발효시킨 발효물은 퇴비화 또는 토양개량제로서의 가치는 있다고 생각된다. 그러나 확실한 가치성 여부를 알기 위해서는 후속발효를 거친 다음 작물실험과 토양실험을 검토한 후 판정했으면 한다.

4. 결 론

본 연구는 최근들어 환경오염물질로 취급되는 음식물찌꺼기를 대상으로 해서 특수 미생물군에 의해 고속 발효시켜 퇴비화로서의 자원화 가능성에 대한 연구를 수행한 바 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

Table. 9 The comparison of the by-product compost with the rapid compost

Compost Noxious components	By-product compost Nation value)	Food-garbage + Dry bean curd	Food-garbage + cake Sawdust
Cd	< 5ppm	Trace	ND
Pb	< 50ppm	Trace	ND
As	< 50ppm	Trace	ND
Hg	< 2ppm	0.02~0.039	ND
NaCl	< 10%	1.10~2.31	1.49~2.56
C/N ratio	> 25	70~78.1	72.45~87.63

1. 음식물찌꺼기 자체로서는 함수율이 높아 미생물에 의한 발효 공법으로 퇴비화 시키는 것은 어렵고 수분조정제(bulking agent)를 사용함으로써 퇴비화는 가능하다고 사료된다.

2. 종합병원에서 발생하는 음식물찌꺼기의 발생량은 하루에 환자 일인당 약 0.9kg으로 조사되었다.

3. 고속발효 후 감량은 35.6~64.5%로서 채소류보다 생선류 및 육류가 함유된 경우 감량이 컸고, bulking agent의 특성에 따른 감량차는 큰 차이가 없었다.

4. 발효가 연속일수록 감량은 적었고, 발효물에 대한 색상은 황색, 갈색, 검은색 순으로 변화하였다. 아울러 탄산가스 발생량도 연속발효일수록 대체적으로 적은량이 발생하였다.

5. 대조군과 실험군에서의 감량은, 탄산가스 발생량을 고려해서 볼 때, 대조군에서는 건조현상과 음식물찌꺼기 자체가 함유하는 미생물에 의해 약간의 발효가 있었고, 실험군에서는 bulking제 별로는 차이가 다소 있었으나 대체적으로 볼 때 공급된 미생물에 의한 발효로 감량이 많았다고 사료된다.

6. 발효가 연속될 때마다 미생물군을 추가로 공급했을 때, 발효에 미치는 효과는 양호한 것으로 나타났다.

7. 발효물에 대한 퇴비화 가치성 분석에서는 bulking제에 따라 큰 차이를 보였고, 연속적인 발효물일 때 T-N, P₂O₅, K₂O의 함량은 대체적으로 높아 지는 반면, 유기물 함량과 C/N비는 낮아지는 것을 볼 수 있었다.

8. 발효물에 대한 중금속 농도는 법적 기준치 이내였으며 염(NaCl)의 농도는 발효가 연속될수록 축적으로 인해 염(NaCl)의 함량은 높아졌고 유기물 함량도 기준치 이상이였다.

그래서 음식물찌꺼기에 대한 고속발효공법은 퇴비화의 중간처리시설로서 퇴비화의 전처리 공정

으로 적용될 때 완속퇴비화의 시간을 단축시킴은 물론, 유기자원으로서의 가능성을 보여주었다.

참 고 문 헌

- 1) 국립농업자재 검사소 : "부산물 비료 분석법" (1987)
- 2) 남궁 완, 최정영 ; "유기성폐기물 자원화기술", 유기성폐기물 자원화 협의회, 제 1권 창간호, pp. 33~47 (1993)
- 3) 농림수산부 : "사료분석법" (1987)
- 4) 신항식, 황은주, 정연구 ; 음식쓰레기 퇴비화시 bulking agent의 적정 첨가량 결정에 관한 연구, 유기성폐기물 자원화 협의회, 가을학술대회 요약집, pp. 7~6 (1993)
- 5) 宋濟天, 柳明辰, 金東文 ; 都市 下水슬러지의 堆肥化에 關한 研究. 東亞大學 校 附設 環境問題 研究所, 研究報告. (9), pp. 227~238 (1986)
- 6) 환경처 : 전국 일반폐기물 처리실적 및 계획 (1992)
- 7) 환경처 : 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률 (1992)
- 8) 환경처 : "환경오염공정시험법 폐기물편" (1992)
- 9) 황광남, 이상규 ; "양질퇴비제조방법실험", 농업기술연구소 시험연구 보고서, pp. 647~658 (1970)
- 10) Elserafy, Z. M., H. A. Sonbol, and I. M. Eltantawy. The problem of water hyacinth in rivers and canals. I. production of compost from plant. Soil Sci. Plant Nutr., 26(1), pp. 135~138 (1980)
- 11) Golueke, C. G., and Diaz, L. F. ; Composting and the Limiting Factor Principle, Biocycle, April, pp. 22~25 (1987)

- 12) Kurihara Kiyoshi ; Urban and industrial wastes as fertilizer materials. International Conference on Organic Matter and Rice, The International Rice Research Institute (1982)
- 13) Shiuhei Miyauchi ; "Garbage composting" Osaka Prefectural Industrial Technology Research Institute, 한국 유기성폐기물 자원화 협의회 심포지움 (1993)
- 14) University of California at Berkely. Reclamation of municipal refuse by composting. Tech. Bull. No.9. Sanitary Engineering Research Project. (1953)
- 15) Willson, G.B., and J.F.parr, and E. Epstein et al. ; Manual forcomposting sewage sludge by the Beltsville aerated-pile method (1980)