

지렁이 분변토를 이용한 음식물쓰레기의 소멸화 가능성 평가

○ 배일상 · 정 권 · 유병태 · 이동훈*

서울특별시 보건환경연구원, 서울시립대학교 환경공학부*

I. 서론

우리나라에서 음식물쓰레기의 재활용율은 '99년 기준으로 33.9%로서, 사료화, 퇴비화, 메탄화 등으로 처리를 하고있으며, 음식물쓰레기 중 퇴비화율은 10.8%정도¹⁾이다. 한편 지렁이 분변토는 선진국에서 80여년 이상 꾸준한 연구가 진행되어 활용방안이 보편화되어 있으며, 양질의 유기질자재로 이용되고 있는데, 특히 병원성균에 강한 각종 미생물을 다량 함유하고 있어 토양개량제, 비료, 상토로의 이용은 물론 탈취제 등 고부가가치성 생물학적 제제로 이용되고 있다. 국내에서 분변토의 활용과 개발은 비교적 외국에 비해 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구는 각 가정에서 발생하는 소량의 음식물쓰레기를 발생원에서 직접 감량화 및 재이용하기 위하여 지렁이 분변토(이하 분변토)를 이용한 미생물제제로서의 활용가능성과 소멸화 가능성을 평가하고자 한다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험장치 및 재료

본 실험에서 사용된 용기의 크기는 길이 25cm, 폭 25cm, 높이 20cm의 스티로폴로 제작하였다.

Table 1. Properties of food waste, fermentation soil and earthworm cast

Sample Component	Food waste	F.S (A)	F.S (B)	E.C
pH	5.89	7.15	6.95	7.08
M.C(%)	76.97	21.18	48.36	44.43
TS(%)	23.03	78.82	51.64	55.57
O.M(%)	86.22	31.89	77.91	43.26
EC(ms/cm)	1.89	1.83	3.14	1.436
Salinity (%)	0.45	0.10	0.14	0.05
T-C(%)	45.10	21.85	39.92	26.42
T-N(%)	3.72	1.53	2.30	3.05
C/N Ratio(%)	12.12	14.28	37.62	29.47

All data are mean values(n:3)

M.C: Moisture Content, O.M: Organic Matter

F.S (A),(B): Fermentation Soil, E.C: Earthworm Cast

기계적인 공기공급은 하지 않았으며, 반응조 상단에는 직경3.5cm의 구멍을 4개와 하단에 1개를 만들어서 반응열에 의한 수분 증발과 자연적인 공기공급이 되도록 하였다. 대상시료는 구내식당에서 발생하는 음식물쓰레기를 대상으로 하였으며, 실험에 이용한 미생물제제는 3종류로서, 분뇨소화탈수케익을 먹는 지렁이에서 배설되는 분변토와 대조군으로 흙누룩의 원리를 이용한 발효토 A, 공서미생물을 첨가한 발효토 B를 사용하였다. Table 1은 대상원료인 음식물쓰레기와 발효토 및 분변토의 일반적인 성상을 나타냈다

2. 실험방법

1)회분식 실험

회분식 실험의 운전조건은 Table 2에 나타나있다.

각각의 반응조에는 미생물제제를 2.85kg 투입하

[연락처] (우)137-130 서울시 서초구 양재동 202-3 서울시보건환경연구원 폐기물공학팀

Tel : 02-570-3383, Fax : 02-570-3475, E-mail : kbis10@kebi.com

Table 2. Initial experiment condition of each batch test and sequencing test

Reactor Component	RUN 1	RUN 2	RUN 3	RUN 4	RUN 5	RUN 6
pH	8.08	7.80	7.87	6.84	6.4	5.51
M.C(%)	40.07	47.12	45.21	43.47	59.5	52.77
O.M(%)	51.19	70.69	57.03	44.97	75.05	55.58
EC(ms/cm)	2.57	2.65	2.41	1.90	2.29	1.44
Salinity(%)	0.41	0.49	0.39	0.19	0.25	0.13
T-C(%)	34.41	35.14	34.20	22.55	42.38	28.63
T-N(%)	3.27	3.42	3.19	1.75	2.65	2.93
C/N Ratio(%)	10.52	10.27	10.72	12.89	15.99	9.77
Food waste/ Inoculum(w/w)	1.2/2.85	1.2/2.85	1.2/2.85	1.2/2.85	1.2/2.85	1.2/2.85

(w/w): wet weight basis (kg/kg)

batch test : RUN 1(F.S(A)), RUN 2(F.S(B)), RUN 3(earthworm cast)

sequencing test : RUN 4(F.S(A)), RUN 5(F.S(B)), RUN 6(earthworm cast)

하였으며, 음식물쓰레기는 4인 가족기준 일일 발생량을 0.3kg/일·인으로 해서 일주일에 한번씩 1.2kg을 투입하였다. 최초로 음식물을 투입한 후 2주 후를 반응이 안정되는 기간으로 보고 그 후 일주일 동안 하루에 두 번 씩 무게와 온도를 측정하였다. 각 반응조의 수분함량은 조정하였으나 pH는 별도로 조정을 하지 않았다. 한편 기계적인 공기공급 없이 사람이 직접 음식물쓰레기를 뒤집어 줌으로서 뒤집기 횟수에 따른 소멸화 효율을 평가하기 위해 Run 1, Run 2, Run 3 반응조를 이용했다. 각각 발효토A, 발효토B, 분변토이다. 위의 반응조를 이용하여 1일에 한번(RUN 1-1, RUN 2-1, RUN 3-1), 2일에 한번(RUN 1-2, RUN 2-2, RUN 3-2), 3일에 한번(RUN 1-3, RUN 2-3, RUN 3-3) 씩 뒤집기를 달리하면서 그 경향을 살폈다.

2) 연속식 실험

각각의 초기 운전조건은 Table 2와 같으며, RUN4, RUN5, RUN6은 각각 발효토A, 발효토B, 분변토를 넣은 반응조이다. 각각의 반응조 내에는 위의 미생물제제와 음식물쓰레기는 회분식 실험과 동일하게 넣어 혼합하였다. 미생물제제는 초기에만 투입하였으며, 계속적으로 일주일에 한번 씩 음식물쓰레기를 투입하여 49일간 실온에 실험을 실시하였다. 별도로 수분과 pH는 조정을 하지 않았으며 하루에 한번씩 뒤집기를 하였다.

3. 분석방법

시료채취는 시료를 균질화 시킨 후 1일 1회 채취하였다. pH, 함수율, 고형물함량, 유기물질, 염분, 전기전도도 등을 측정했으며, 반응기내의 온도 및 가스상물질 등은 필요시 수시로 측정을 하였다. 무게변화는 습중량을 기준으로 저울로 측정했으며, C/N비는 원소분석기(Fison EA 1108)를 이용하여 건조된 시료로 분석을 하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 회분식 실험

분변토가 첨가된 RUN 3 반응조의 경우 뒤집기 횟수를 달리 함으로써 호기성조건에 따른 각종 변화를

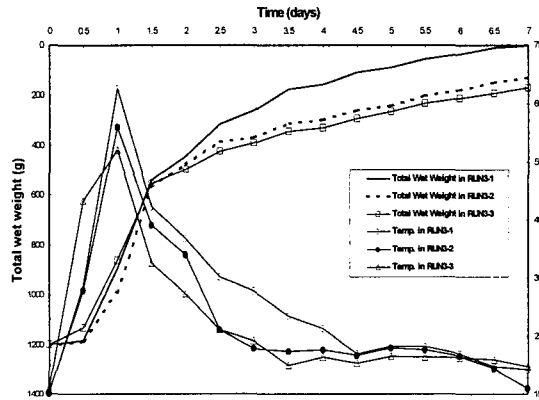


Fig. 1. Variation of total wet weight and temperature with time in reactor of earthworm cast. RUN3-1: turned once per day, RUN3-2: turned once per two days, RUN3-3 : turned once per three days.

살피고자 Fig. 1에 나타내었다. RUN 3-1, RUN 3-2, RUN 3-3는 모두 분변토를 토양미생물계재로 사용한 반응기로서 각각 1일에 한번, 2일에 한번, 3일에 한번 씩 반응기 내 음식물을 뒤집어 주었다. 1일에 한번 씩 뒤집기를 한 RUN3-1의 반응기가 총무게감소가 가장 좋았으며, 최고온도는 71°C에 달했고, 30°C 이상 유지일수도 4일로 가장 길었다.

한편 Table 3은 각각의 반응조에서의 초기 무게와 최종무게 그리고 총습무게감소율(r) 과 소멸화속도상수(k_2)를 나타냈다. 보통 미생물 반응은 1차반응으로 보고되고 있으나 본 연구에서는 2차반응을 이용²⁾하였으며, 2차반응속도식 $1/W_t - W_0 = k_2 t$ 에서 k_2 값을 구했다. 여기서 가장 좋은 결과를 나타낸 반응조는 분변토를 이용하고 하루에 한번씩 뒤집기를 한 RUN3-1 반응기로서, k_2 는 $473.82 \times 10^{-4} / g \cdot day$ 였으며, 총습무게감소율은 99.8%로서 대부분의 음식물쓰레기가 소멸된 것으로 판단된다. 2일에 한번 3일에 한번 뒤집기를 한 3개의 반응조 모두 k_2 와 r은 뚜렷한 차이를 보이지 않았다.

Table 3. Reduction rate of total wet weight and k_2 as turning frequency in each reactor

Turning frequency	once per day			once per two days			once per three days			
	RUN No.	RUN1-1	RUN2-1	RUN3-1	RUN1-2	RUN2-2	RUN3-2	RUN1-3	RUN2-3	RUN3-3
Initial Weight(g)		1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
Final Weight(g)		90	115	2	179	221	128	230	268	172
k_2		41.64	31.29	473.82	22.43	18.14	27.94	18.26	15.31	22.96
r(%)		92.5	90.4	99.8	85.1	81.6	89.3	80.8	77.7	85.7

r: reduction rate of total wet weight during 7days(%)

k_2 :second order kinetic constants of vanishing velocity during for 7days ($\times 10^{-4} / g \cdot day$)

RUN1-1~1-3:fermentation soil A, RUN2-1~2-3: fermentation soil B, RUN3-1~3-3: earthworm cast

2. 연속식 실험

소멸화에 의한 유기물질의 감소를 간접적으로 평가하기 위하여 Fig. 2와 같이 습중량 무게변화를 연속운전 조건별로 평가하였다. 무게감소는 초기에 RUN5반응조인 발효토B가 가장 우수하였으나, 이는 발효토 자체에 유기물이 많이 함유되어 있어 자체의 유기물감소 때문인 것으로 사료된다. 시간이

경과될수록 3개의 반응조 모두 총습무게 감소는 비슷한 경향을 나타냈다. 따라서 분변토는 토양미생물제제인 발효토와 비슷한 효과를 나타냄을 알 수 있다. Fig. 3은 수분함량에 따른 암모니아 방출 영향을 나타낸 그래프로서, 분변토를 첨가한 RUN6 반응조의 경우 음식물을 투입한 이후 7일까지는 암모니아가 거의 발생하지 않았으며 3개의 반응조 중 제일 높은 수분을 유지하고 있었다. 이는 유기물분해에 의하여 발생된 암모니아가 수분에 흡수되어서 배기가스 중에 발생하지 않았을 가능성과 분변토 차체가 바이오필터 개념의 탈취기능을 갖고 있기 때문으로 사료된다. 3번째 음식물을 투입한 시점은 14일로서 투입 하루만에 암모니아 발생이 최대가 되었는데 이는 활성화된 미생물의 유기물분해로 인한 암모니아발생이 통기성개량재의 흡착³⁾ 및 수분에 의한 흡수보다 더 크기 때문인 것으로 판단된다.

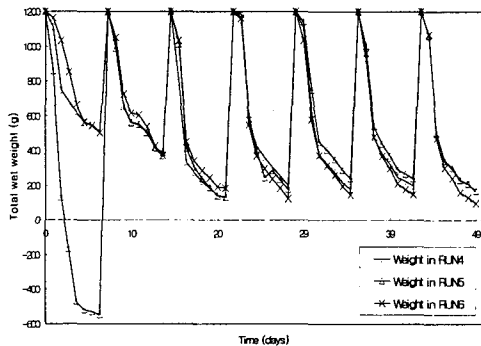


Fig. 2. Changes of total wet weight with time during each sequencing tests (RUN 4, RUN 5, RUN 6)

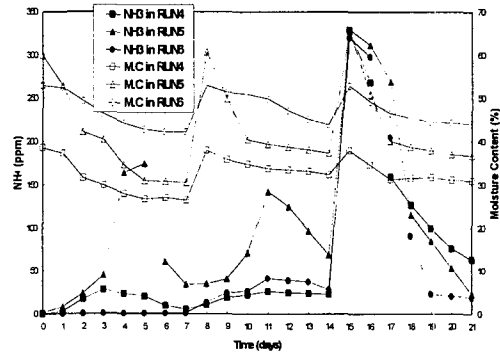


Fig. 3. Changes of NH_4 evolution and moisture content with time during each sequencing tests. (RUN 4, RUN 5, RUN 6)

IV. 결론

뒤집기 횟수를 달리 함으로써 호기성조건에 따른 각종 변화를 살펴본 결과 분변토를 토양미생물제제로 사용하고 하루에 한번씩 뒤집어 준 반응조가 가장 우수했으며, 또한 소멸화속도상수는 $473.82 \times 10^{-4} / \text{g} \cdot \text{day}$ 였고, 총습무게감소율은 99.8%로서 대부분의 음식물쓰레기가 소멸된 것으로 판단된다.

연속실험에서 시간이 경과될수록 발효토A, 발효토B, 분변토의 3개 반응조 모두 총습무게 감소는 비슷한 경향을 나타냈다. 따라서 분변토는 토양미생물제제인 발효토와 비슷한 효과를 나타냄을 알 수 있다. 분변토를 사용한 반응기의 경우 암모니아발생은 초기에 거의 발생하지 않았다. 이는 유기물분해에 의하여 발생된 암모니아가 수분에 흡수되어서 배기가스 중에 발생하지 않았을 가능성과 분변토 차체가 바이오필터 개념의 탈취기능을 갖고 있기 때문으로 사료된다.

V. 참고문헌

1. 환경부: 2000 음식물쓰레기감량·재활용정책(2000)
2. 김중찬 : 주방폐기물의 호기성 소멸화 시스템 개발, pp77-81(1999)
3. Nakasaki, K., Kuratomi, H., : Effects of Composting Temperatures on the Generation of Ammonia and Odorous Sulphur Compounds, Waste Management Research, Vol.10,No.1, pp9-15(1999)