

음식물 찌꺼기를 이용한 호기성 퇴비화 설비

안철환* · 이찬욱 · 윤형순 · 이혜나/ 텃밭보급소

연구 필요성

2013년부터는 음식물 찌꺼기를 짜고 배출된 음폐수 해양 투기가 전면 금지되었다. 이에 따라 음식물 찌꺼기의 처리방법에 대한 기술 연구가 매우 활발한 가운데, 음식물 찌꺼기를 자원화시키는 연구가 특히 대두되고 있다. 자원화 방법 중에서도 퇴비화시키는 것이 매립이나 소각하는 방법과 비교했을 때 환경영향, 경제성 비교에서 가장 안정적이고 경제성 있다는 것은 잘 알려진 사실이다.²⁾ 그래서 음폐수 해양투기 금지에 대비한 각종 자원화 기술과 시설은 이미 많이 개발되어 있다. 하지만 그러한 기술과 시설을 운용할 때에 드는 고비용, 공간 확보의 어려움, 불안정한 행정적 지원 등은 자원화가 활발히 이루어질 수 없게 하는 요인이 된다.³⁾ 또한 음식물 찌꺼기는 강한 염도 문제 때문에 과연 음식물 찌꺼기가 퇴비가 될 수 있는냐는 강한 의구심이 있다. 특히 한국의 음식물 찌꺼기는 국물이 많고 조리한 음식이 많은데다 특성상 음식물 찌꺼기가 많이 발생해 퇴비화 불가능 의구심이 강했다.

또한 음식물을 짜고 남은 음폐수를 더 바다에 버릴 수 없어 그 처리가 더욱 힘들어졌으며 대개 시중에 나와 있는 음식물 처리기는 자원화 목적보다는 소멸화에 목적이 있어 자원 낭

* **안철환**: 도시농업시민협의회 상임대표. 경기도 안산에서 '바람들이 농장'을 일구는 한편, '텃밭보급소'라는 사회적 기업을 설립해 도시인들의 텃밭가꾸기와 귀농자 이론과 실습을 돕고 있다. 남은 음식물과 퐁오즙을 받아 직접 거름만들기를 실천하고, 토종종자 보전과 전통농업 살리기에도 힘쓰고 있다.

1) 법적인 용어로는 음식물 폐기물이 맞는 표현이나 재활용할 수 있는 자원으로서의 의미를 두고 이 보고서에서는 음식물 찌꺼기로 표현한다.

2) 안호성(1995), "음식물쓰레기의 합리적인 처리방안 연구", 한양대 환경과학대학원.

3) KBS 뉴스, 김상협, "음폐수 해양 투기 금지 앞두고 대책 마련 고심", 2012. 07. 03

비의 문제는 여전히 남는 과제였다. 게다가 그 기계들의 전기 에너지 소모가 의외로 크며 불량률도 높아 상용화하기도 힘든 문제점을 안고 있다.

우리나라는 전통적으로 발효 문화가 발달한 나라였다. 김치, 된장에서부터 두엄까지 발효 기술이 적용되는 분야는 매우 다양했고 우리 음식 중에는 발효음식이 아닌 것이 없을 정도로 발효기술은 일상화되어 있었다. 그럼에도 김치, 된장 같은 음식의 발효기술은 변함없이 전수되었지만 퇴비화 기술은 제대로 전수되지 못했다. 모순되게도 우리 친환경농사를 실천하는 농가에서 퇴비를 사다 쓰는 농부가 적지 않다.

본 연구에서는 중소형의 무동력 자연순환식 퇴비통을 개발하여 학교와 건물의 단체 급식소, 마을공동체, 주택단지 등에서 별도의 특별기술이나 에너지에 의지하지 않고 자립적인 자연순환식 퇴비화 실현을 가능하게 하는 것이 목표이다. 이는 전통 농가에서 실천해 온 두엄식 퇴비 기술을 약간 개량한 것으로 누구나 쉽게 사용할 수 있고, 에너지도 전혀 들지 않고 저비용으로 마치 김치나 된장 담그듯이 퇴비를 만들 수 있는 자연순환식 퇴비화 기술을 적용한 것이다. 퇴비화의 결과물은 농촌과 특히 점점 증가하는 도시 텃밭에 바로 사용하거나 기부되어 선순환시킬 수 있으리라 예상한다.

무동력 자연순환 퇴비 원리

기본적으로 썩지 않는 유기물은 없다는 진실을 알 필요가 있다. 사람들은 퇴비에 대해 이런 의구심을 드러내곤 한다. “어떻게 음식물이 퇴비가 될 수 있죠? 사람 똥을 퇴비로 만든다고요? 아니 낙엽이 과연 퇴비가 될 수 있습니까? 톱밥도 퇴비가 된다니 그게 말이 됩니까?”

물론 쉽지는 않다. 음식물은 고형질이 분쇄되지 않은데다 염분이 문제다. 인분은 양분이 많아 어렵고, 낙엽의 경우 침엽수 낙엽은 독이 있어 어렵고 톱밥은 양분이 거의 없어 어렵다. 그렇지만 그런 문제는 어렵지 않게 해결할 수 있다.

아무튼 퇴비화란 기본적으로 썩지 않는 유기물은 없다는 진실을 확신하고 그 다음엔 조건만 갖추주면 퇴비화는 절로 일어난다. 가령 김치, 된장을 담글 때 전혀 외부의 동력을 가하지 않고 첨가제도 넣지 않아도 조건만 갖추주면 절로 발효가 되는 것과 같은 원리다.

그럼 퇴비화를 가능하게 하는 기본 조건들을 살펴보자. 우선 이 연구에서는 이른바 호기성(好氣性) 퇴비화를 다룬다는 것을 알고 넘어가자. 호기성 퇴비화란 말 그대로 공기를 좋아하는 발효를 뜻한다. 그 반대인 혐기성(嫌氣性) 퇴비화는 본 연구의 대상이 아님을 밝힌다.

1. 탄질률(C/N 비)

퇴비화의 가장 기본이 되는 원리는 바로 탄소질과 질소질의 배합비율이다. 탄소가 유기물의 뼈대라면, 질소는 유기물의 살이라 보면 된다. 탄소가 기본이 되어 식물은 탄수화물을 만들고 여기에 질소가 보태지면 단백질이 되는 것이다. 탄소질과 질소질에 대해 예를 들어 설명하자면 다음과 같다. 탄소질은 톱밥, 낙엽, 볏짚, 왕겨, 마른풀 등과 같이 양분은 날아가고 뼈대, 곧 탄소만 남아 탄질비가 200:1에서 500:1에 이를 정도로 탄소의 함량이 높은 물질을 말한다. 질소질은 음식물 찌꺼기로 배출되는 채소껍질, 밥알, 반찬, 고기 등 음식 잔반으로 곧 단백질의 기본을 이루는 질소 함량이 높은 물질을 말한다.

퇴비화란 기본적으로 미생물에 의한 작용인데 미생물은 탄소를 에너지로 삼고 질소를 먹이로 삼아 유기물을 분해한다. 탄소와 질소가 적당히 배합되어 있어야 미생물이 발효할 수 있는 이유가 여기에 있다.

셀룰로오즈나 리그닌 같은 식물의 세포벽을 구성하는 섬유질이나 각질이 탄소라면, 질소는 단백질이 분해되고 남은 찌꺼기다. 이 둘을 적당한 비율로 섞어주면 미생물의 발효 활동이 활발하게 이뤄져 원활하게 퇴비화가 진행되는데 바로 20:1이 적당한 탄질률(C/N비)이다. 이 최적 탄질률을 지니고 있는 대표적인 재료가 바로 커피 찌꺼기와 이른바 콩과류의 녹비들이다. 이런 재료들은 온도와 수분 조건만 잘 맞춰주면 발효가 절로 일어난다.

그러니까 탄질률이 높으면 낮게, 낮으면 높게 맞춰주는 것이 퇴비화의 관건인데, 탄질률이 낮으면 과다 질소로 질소성분이 휘발되어 악취가 나며, 탄질률이 높으면 미생물이 먹을 게 없어 퇴비화가 늦어진다. 이 경우 시판되는 미생물 부숙제를 첨가하여 보충하는 방법이 있지만 이 같은 악조건이 아닌 이상, 여타의 부숙제 투입은 불필요하다.⁴⁾

본 연구에서는 탄소질 투입을 위해 낙엽과 톱밥을 사용하며 질소질의 주재료인 음식물 찌꺼기를 활용한다. 낙엽과 톱밥의 상태와 혼합비율에 따라서도 실험결과가 달라질 것으로 본다.

2. 온도와 공기

퇴비화 과정에서 수분 제거 및 안정화를 위한 적정온도는 40~55℃이며, 병원균 사멸을 위해서는 55~60℃의 온도를 2~3일간 유지할 필요가 있다. 그러나 저온 발효로도 살균이 가능한지를 성분 분석 의뢰를 통해 파악한다.

4) 정준영·정광용·박우균(1999), “음식물 쓰레기 퇴비화를 위한 미생물 최적 활성 조건”, 농업과학기술원 환경관리과.

무동력 음식물퇴비통은 고온과 호기성 발효가 관건이다. 원활한 발효를 위한 최소 용량(200ℓ) 이상의 양을 전통적인 퇴비화 방식과는 달리 뒤집는 과정 없이 실험한다. 집단급식소에서 대량으로 나오는 음식물을 일일이 뒤집으며 퇴비화 할 수 없는 조건 때문에 교반하지 않고도 스스로 숨쉬는 호기성 발효가 가능하도록 바닥에서부터 뚜껑까지 퇴비통 내부에 수직으로 유공관을 설치한다.

3. pH

퇴비화에 적합한 적정 pH는 5.5~8.0이다. 초기에 발효가 일어나면 암모니아가 발생하여 pH가 상승하고 원료 분해속도가 빨라 산소 소모량이 많고 유기산도 발생하기 쉬워 부분적인 혐기성 상태가 나타날 수 있다. 이후 암모니아화가 끝나면 pH는 7.5~8.0 범위로 감소한다. 주기적인 체크를 통해 퇴비화가 어느 정도 진행되는지 알 수 있는 지표가 될 것이라 본다.

4. 함수율

수분은 미생물이 활동하는 데 필수적이다. 퇴비화 재료에 수분이 적은 경우에는 살수할 필요가 있으며, 수분이 높은 경우 퇴비화 물질 사이에 공극을 메우게 되므로 호기성 미생물의 호흡에 필요한 공기전달이 제대로 이루어지지 않아 혐기성 상태로 변하고 악취 발생을 유발할 수도 있으며, 영양분이 침출된다. 또한 미생물의 먹이가 되는 단위질량당 유기물 함량이 상대적으로 작아지므로 미생물의 증식 및 활성을 저해한다. 퇴비화 반응에 적절한 함수율은 45~60%이다.

본 연구에서 투입하는 낙엽과 톱밥은 탄소질로서 이러한 수분조절 역할을 하며 공극 개량 물질로도 효과를 낸다.

5. 염분 함량

퇴비의 염분 함량은 음식물 찌꺼기 퇴비화시 생기는 문제점의 주원인이 될 소지가 크다. 음식물 자체가 높은 염분(NaCl)을 함유하고 있기 때문이다. 염분 함량이 높은 퇴비가 쓰여 농지의 토양이 염류토양이 되면 토양 내의 흠을 덩어리로 만들어 작물의 성장을 저해하며, 과량 포함되면 역삼투 현상이 일어나 식물체의 뿌리에서 수분이 토양내로 이동하여 식물체가 고사하게 된다.

다행히도 본 연구에서는 염분이 희석될 수 있는 환경(오래된 방치로 염분율이 높은 원료,

염분이 높은 원료가 아닌 곡류, 채소류 등이 적절하게 섞인 단체 급식소의 음식물 찌꺼기가 원료라는 점) 덕분에 퇴비화 및 결과물 이용시 염려되는 방해 작용은 없을 것으로 본다. 이 또한 주기적으로 정상범위(염분 함량 2% 이내⁵⁾는 퇴비화 반응과정에 미치는 염분 영향, 식물 성장에 미치는 영향이 거의 없다⁶⁾를 넘어서는지 체크한다. 아직까지 염분 함량이 단 1%도 넘긴 수치가 없다. 톱밥을 섞으면서 염분이 희석되고 발효과정에서 미생물로 염분이 분해되기 때문인 것으로 판단한다.

무동력 자연순환 퇴비 만들기

1. 실험 재료

가. 원료 공급

2012년 6월 서울시 강동구 신암중학교에 무동력 음식물퇴비통을 설치하고, 6월부터 11월까지 평일 점심시간 후 급식실에서 나오는 잔반 일부를 수거했다.

나. 수치 기계

- (1) 염도측정기: HM DIGITAL, 기미상궁
- (2) pH METER: HM DIGITAL
- (3) 디지털 온도계: (주) 서미트
- (4) 함수율 측정기: DEMETRA E.M.System Soil tester

2. 실험 방법

수거한 음식물 찌꺼기를 낙엽 및 톱밥과 1:1.5의 비율(톱밥의 공극상태와 음식물 찌꺼기의 수분상태에 따라 다르게 적용하여야 하나 본 실험에서는 1:1.5의 비율로 진행)로 고루 섞어 200L짜리 무동력 퇴비통에 가득 담는다. 제작 후 5일~10일 간격으로 비가 오지 않는 맑은 날을 기준으로 내부온도, 염도, pH 등을 수치 기계로 체크하였다. 그 외 냄새, 질감, 색 등은 따로 메모, 촬영하였다. 참고로 휴대용 수치 기계를 사용한 점, 수작업으로 진행한 점에서

5) 비료 공정규격설정 및 지정개정안에 따르면 비료 내 적정 염분 함량을 부속비료의 경우 2% 이하로 규정하고 있다.

6) 주요섭(2000), "음식물내 염분농도가 퇴비화 및 식물 성장에 미치는 영향" 서울산업대학교 산업대학원 환경공학과.

제작 당일날의 수치는 데이터로서 의미가 없으므로 제외하였다.

함수율은 퇴비화가 거의 다 진행되었을 시에만 측정을 한다. 퇴비화 진행에 대한 판단은 기록한 수치에 더불어 현장에서 냄새, 질감, 색, 부피변화 등을 통해 실험 종료를 결정하고, 적절한 시료는 성분 분석을 의뢰한다.

〈그림 1〉 시료용 음식물 찌꺼기



〈그림 2〉 퇴비통에 넣기 전 시료를 낙엽 및 톱밥과 혼합하는 모습



3. 실험결과 및 고찰

10월 30일 현재 1호(제작 날짜 6월 8일)부터 8호(10월 26일)까지 운영중이며 이 중 1호와 2호는 퇴비화가 끝났다고 판단하여 퇴비통에서 옮겼다.

각 퇴비통에 대한 실험일정은 다음과 같다.

〈표 1〉 퇴비통 제작 및 실험일정

| 구분 | 제작 및 실험 시작일 | 실험종료일 | 구분 | 제작 및 실험 시작일 | 실험종료일 |
|----|-------------|---------|----|-------------|---------|
| 1호 | 6월 8일 | 9월 27일 | 6호 | 10월 9일 | 11월 30일 |
| 2호 | 6월 15일 | 9월 27일 | 7호 | 10월19일 | 11월 30일 |
| 3호 | 8월 27일 | 10월 25일 | 8호 | 10월26일 | 11월 30일 |
| 4호 | 9월 21일 | 11월 30일 | 9호 | 11월 2일 | 11월 30일 |
| 5호 | 9월 28일 | 11월 23일 | | | |

<그림 3> 1호 퇴비화 진행(8월 27일)



<그림 4> 2호 시료를 손으로 뭉쳤을 때(9월 10일)



<그림 5> 부숙단계인 2호 퇴비통(9월 21일)



<그림 6> 2호의 시료를 손으로 뭉쳤을 때(9월 21일)

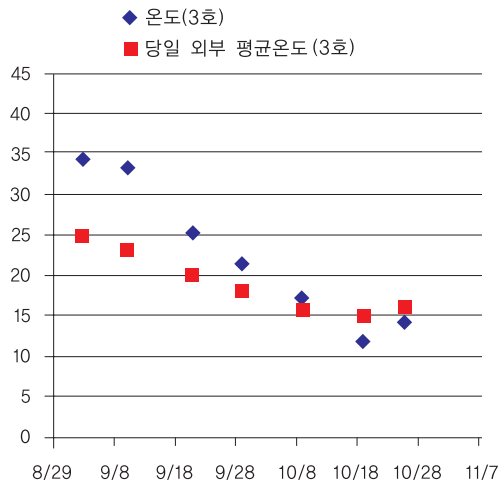
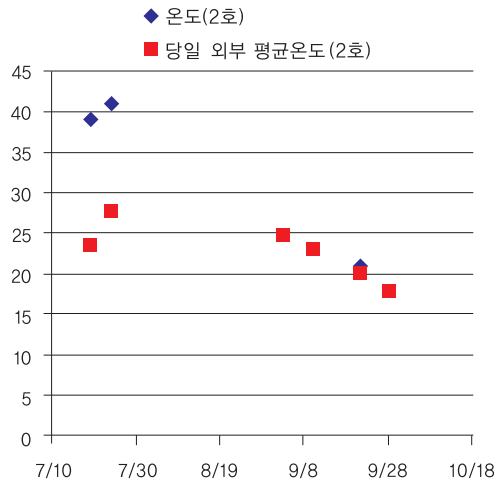
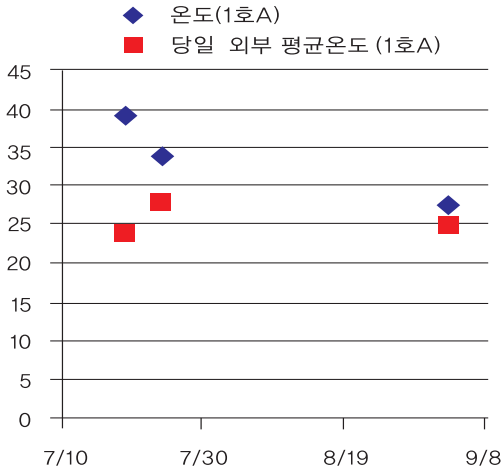


가. 온도

퇴비통 내부 온도는 <그림 7>에서 보듯이 제작일 기준 한 달 전후로 최고 온도를 보였고 점차 온도가 감소하였다. 최고 온도는 40℃ 정도를 기록하였는데 이번 실험은 저온 퇴비화 가능성 여부를 확인하기 위한 실험이므로 더 높은 온도로 올라갈 필요가 없는 실험이다. 그리고 외부온도를 비교하기 위해 그림에 당일의 외부 평균온도를 기상청 자료를 토대로 넣어서 비교해보았는데, 퇴비화 초반일수록 내부온도와 차이가 크게 벌어지고 온도가 감소하는 후반부로 갈수록 차이가 줄어들어 비슷해졌다.

정상적인 퇴비화 과정과는 달리 퇴비통 내부 최고 온도가 50℃에 미치지 못했다는 점은 현재 퇴비통 시스템에 대한 또 다른 연구과제를 생기게 한다. 고온(55℃~60℃)에 의한 병원균 사멸론에 따르면 저온 퇴비에는 병원균이 존재할 수밖에 없는데, 고온 사멸론과 달리 저온 발효로 다양한 미생물이 증식되고 그들이 뿜어내는 천연항생제에 의한 세균 사멸이 더

〈그림 7〉 퇴비통 내부 온도(°C)



효과적이라는 반대 이론이 더 적합한지를 평가해야 한다. 이는 본 연구에서 매우 중요한 내용이다. 과연 저온 발효로도 살균이 가능하다는 것을 증명하게 된다면 일단 이번 연구는 매우 성공적이라 할 수 있을 것이다. 다행히도 색이나 냄새를 통한 현장 확인 결과 전통적인 퇴비 진행과정과 큰 차이가 없었다. 실험이 다 끝나고 완성된 퇴비의 세균(살모넬라와 O157:H7) 검출을 공식기관에 의뢰한 결과, 모두 기준치 이하로 나와 저온 발효로도 살균이 가능함을 보여주었다.(p.21 별첨 자료 참고)

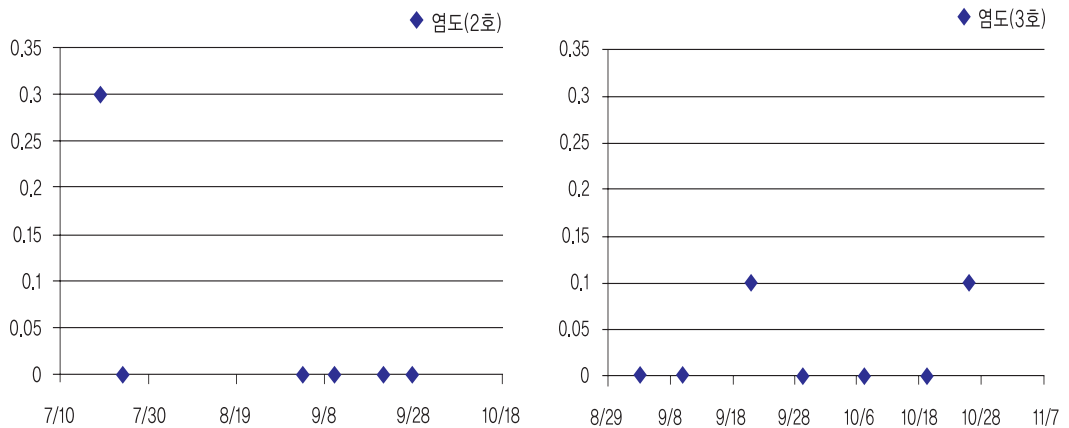
시스템에 대한 고찰은 다음과 같다.

현재 쓰고 있는 퇴비통의 용량(200ℓ)은 고온 발효를 위한 최소한의 용량에는 미치지 못한다. 보통 고온발효의 최소 조건은 무게로 1톤 이상 되어야 하는데 200ℓ 용량에 담을 수 있는 톱밥과 음식물 무게가 100kg이 되지 않으니 고온 발효는 불가능하다고 보아야 한다.

나. 염도

염도는 <그림 8>에서 보듯이 0.0~0.3% 정도의 수치만 보였다. 염분이 0~2% 내에서는 퇴비화가 진행될 때나 만들어진 퇴비를 쓸 때에 작물에 주는 영향 차이가 거의 없다는 이론적 배경에서, 본 수치는 부정적 영향은 없을 것이라 본다. 0.0%에서 간헐적으로 0.1%로 왔다 갔다 하는 것은 일반적인 편차라고 보며, 수작업으로 음식물을 낙엽과 톱밥으로 섞다 보니 퇴비화가 많이 진행되지 않을수록 시료 채취 시 불규칙해질 수밖에 없을 것이다.

<그림 8> 퇴비통 내부 염도



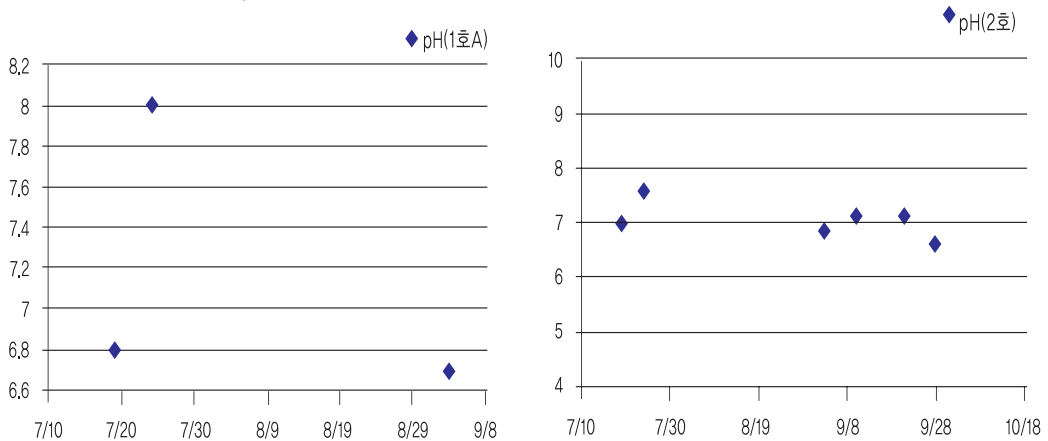
염도에 대한 고찰은 다음과 같다.

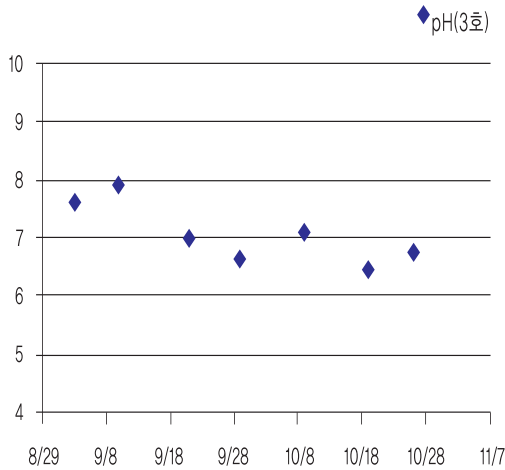
1. 원료가 염분이 높은 성분만 집중되지 않고 밥과 같은 염분이 없는 곡류나 채소 등이 적절히 있어 초기 염도나 종료 시 염도 모두 2%내로 적정하며, 결론적으로 0%로 감소한다.
2. 퇴비화 종료시 염도 0%가 기록되었는데 이는 염분이 완벽하게 제거되었다기보다는 간이측정기로 현장에서 건물이 아닌 수분을 함유한 시료를 측정해서 얻은 결과이기 때문에 오차가 있는 것으로 추정된다. 이후 전문시험기관에 의뢰해서 성분분석을 하였을 때 0.49%의 염분 함량을 확인할 수 있었다. 결국 NaCl도 발효과정에서 미생물에 의해 분해된다는 이론이 입증된 것이 아닌가 판단되지만 아직 선례를 찾아볼 수 없는 점이기 때문에 성분 의뢰를 퇴비화 중간에도 하거나 인위적인 NaCl 성분을 추가하여 실험해보면 될 것 같다.

다. pH

〈그림 9〉을 보면 공통적으로 pH가 약산성이나 중성에서 시작해 pH8 정도의 약염기성을 기록하고 다시 후반부로 갈수록 약산성으로 되돌아오는 것을 관찰할 수 있다. 이러한 경향은 퇴비화의 전형적인 모습이며, 후반부 약산성에 대한 평가는 냄새와 색을 통해 퇴비화가 부숙 단계에 이르렀는지, 퇴비화가 진행 중인지 판단하였다. 전통적인 퇴비화 방식과 마찬가지로 부숙단계에서는 분해되기 어려운 식물 잔해 리그닌이 분해되기 시작하는데, 이는 방선균의 활동에 의한 분해 작용으로 이때 썩은내, 곰팡내가 아닌 좋은 흙냄새를 맡을 수 있다.

〈그림 9〉 퇴비통 내부 pH





pH에 대한 고찰은 다음과 같다.

고온을 기록하지 못했다는 점에서 의문이 들었다면, pH에서는 전통적인 퇴비화 방식과 큰 차이없는 양상을 보인 것은 흥미있는 연구과제가 제기되는 것이라 본다. 저온 발효에 의한 세균 사멸론의 타당성을 증명할 수 있는 대목이기 때문이다. 1호와 2호의 경우 퇴비화가 종료되었다고 판단할 수 있었던 이유는 pH가 약산으로 돌아왔다는 점과 함께 흙냄새, 짙은 갈색을 관찰할 수 있었다는 점에 있다.

연구결과 및 현장 적용사례

온도, 염도, pH 측정 결과 온도를 제외한 다른 수치들은 정상적인 퇴비화 과정을 보였다. 온도가 고온발효 조건에 미치지 않았음에도 염도와 pH가 전통적인 퇴비화 과정과 다름없는 변화를 보인 것은 저온 발효에 의한 세균 사멸론의 타당성을 입증하는 것이라 기대되었다.(함수율도 1호의 경우 74% 정도로 약간 높은 수치가 나왔다. 이러한 수치는 후숙후 충분히 건조시키지 않은 이유 때문이며 판매용 제품이 아닌 자급 목적의 비료이기 때문에 큰 문제는 없을 것으로 생각된다.) 첨부한 세균 검사에서 분석 기관 모두에서 불검출이 나와 결과적으로는 저

온 발효로도 살균이 가능함을 증명해 주었다. 그러나 과연 미생물에 의한 살균인지는 더 정밀한 실험 연구가 필요하다 하겠다. 여기서는 단지 저온 발효에 의한 퇴비에 세균이 검출되지 않았다는 것을 결과적으로 보여줄 뿐 구체적인 과정은 밝힐 수가 없기 때문이다.

사실 고온 발효를 시키려면 200리터 용기로는 부족하다는 전문가의 지적을 받은 바 있었다. 적어도 1톤 이상의 원료를 쌓아야 고온 발효가 가능하다는 지적이었는데, 그만큼의 양과 부피를 확보하려면 운반 가능한 음식물 퇴비통 제작이 불가능하므로 무게가 가볍고 용량이 적어도 저온 발효가 가능하다는 것은 이 사업을 희망적으로 기대하게끔 하는 일이라 할 수 있다. 1톤 이상의 대용량 퇴비화를 실행하려면 규모 있는 상업농에서나 가능한 일이고, 본 연구에서처럼 소농 또는 도시농업이나 학교급식 잔반 퇴비화에서는 대규모 퇴비통을 설치할 수가 없기 때문이다.

또한 미세했지만 염도도 결론적으로 0%로 염분 자체가 제거되었다는 점은 수치 체크 방법이 잘못된 것인지, 미생물에 의한 염분 분해가 맞는 것인지 좀더 세밀한 집중 실험이 필요한 것이라 하겠다. 따라서 퇴비화 중간과정과 종료시 성분분석을 의뢰하여 병원성 세균의 유무와 염분 제거 인자를 알아볼 필요가 있다고 생각한다.

다만 부정적인 결과로서 숙제로 남아있는 과제로는 역시 사람 손이 많이 들어가야 한다는 사실이다. 별첨 자료 3에서도 알 수 있듯이 냄새가 발생하고 구더기가 꼬이는 일이 있었는데 이런 경우는 관리자가 교체되고 후임자가 정확히 교육받지 않은 상태에서 현장에 투입되어 생긴 일들이었다. 예컨대 너무 고온 톱밥을 썼다든가 관리를 잘못해 비에 젖은 톱밥을 썼다든가, 음식물 재료가 고기뼈 위주로 된 것을 그냥 썼다든가 하는 실수들이었다. 이는 교육을 잘못된 탓도 있지만 아직 이 퇴비통이 숙련된 사람에 의지해야 하는 한계를 드러낸 점도 인정해야 하는 사실이었다. 사람이 전혀 필요없는 퇴비통을 만들려면 에너지가 들어가는 자동화 시스템으로 해야 할텐데 이는 본 연구의 취지에 어긋나는 일이어서 논외로 해야 하지만, 사람 손을 최소화해야 하는 과제는 여전히 숙제로 남아있다 하겠다.

기대효과

일단 소규모의 퇴비통에서도 퇴비화가 가능하다는 것을 보여준 것이 가장 큰 성과이다. 소규모 퇴비화가 가능하다는 것은 그 적용범위를 매우 다양하게 확대할 수 있다는 것을 말해준다. 궁극적으로는 가정용 퇴비통도 가능하며 소규모 가족농가에게는 매우 쉽게 적용할

수 있고 당장 학교 급식의 잔반 퇴비화의 보급이 기대된다. 나아가 잔반이 많이 나오는 일반 식당에도 보급할 수 있게 될 것이라 기대해 본다.

현재 시판되고 있는 음식물 처리기들은 대부분 전기를 사용하고 그 목적도 소멸화에 있어 음식물 자원화와는 거리가 멀다. 퇴비화를 목적으로 한 기계들이 나오고 있지만 대부분 에너지를 사용하는 것들이며 그 비용도 꽤 비싼 편이다. 반면 본 연구에서 수행한 퇴비통은 저렴한 비용으로 누구나 만들 수 있으며 에너지도 전혀 들지 않는 자연순환식이어서 진정한 의미의 생태순환 방식을 도입해 음식물 자원화에 진일보하는 계기가 되길 기대하며 글을 맺는다.

[참고문헌]

1. 석종욱, 「땅심 살리는 퇴비 만들기」, 들녘 출판사, 2013.
2. 안호성, '음식물쓰레기의 합리적인 처리방안 연구', 한양대 환경과학대학원, 1995.
3. 정준영 · 정광용 · 박우균, '음식물 쓰레기 퇴비화를 위한 미생물 최적 활성 조건', 농업과학기술원 환경관리과, 1999.
4. 주요섭, '음식물내 염분농도가 퇴비화 및 식물성장에 미치는 영향', 서울산업대학교 산업대학원 환경공학과, 2000.
5. 김상협, '음폐수 해양 투기 금지 앞두고 대책 마련 고심', KBS 뉴스, 2012. 7. 3.

[별첨자료 1]

음식물 퇴비통 제작 방법

| | |
|---|--------------------------------|
|  | <p>1. 고무통 위에 배기 순환통 구멍 뚫기</p> |
|  | <p>2. 고무통 바닥에 배기 순환통 구멍 뚫기</p> |
|  | <p>3. 고무통 바닥에 공기 구멍 뚫기</p> |
|  | <p>4. 배기관에 공기 구멍 뚫기</p> |



5. 배기관 하단에 고정핀 구멍 뚫기



6. 배기관 하단에 고정핀 설치 및 고정



7. 배기관 설치



8. 배기관 순환통 설치
뚜껑을 열기 힘들어서 배기관을 고무통 윗부분에서 절단하고 연결밸브를 끼운 후 다시 배기통을 끼워서 작업하는 것으로 수정했다.



9. 양파망에 숯 담기
숯을 사용하면 좋으나 생략해도 되며 숯 대신 철물점에서 파는 가스배관 마개 구멍을 사용해 봤다.



10. 배기관에 양파망 숯 고정하기
나사못을 박은 후 양파망 끈으로 묶어서 아래로 내려가지 않도록 한다.



11. 완성된 음식물 퇴비통



12. 신암중학교 급식실 뒤 음식물 잔반통

음식물 퇴비통 사용법 및 사례

| | |
|---|---|
|  | <p>1. 음식물과 톱밥, 낙엽을 1:1.5비율로 섞는다. 수분이 많으면 톱밥, 낙엽을 좀 더 투입하고 뼈, 비닐 등은 음식물에서 제거한다.</p> |
|  | <p>2. 음식물과 톱밥을 1:1.5비율로 섞어서 퇴비통에 투입한다. 손으로 뭉쳤을 때 만두모양이 나올 정도의 수분함량(60%)이면 좋다.</p> |
|  | <p>3. 퇴비통 배치 음식물 투입 전에 퇴비통 바닥에 벽돌을 놓는다. 설치장소는 급식실과 약간 떨어진 곳이 좋을 것 같고 바닥은 흙이 있는 곳에 설치하는 게 좋다. 퇴비통 옆의 고무통은 교반하는 통, 톱밥이나 낙엽보관 통이다.</p> |

[별첨 자료 2]

음식물 퇴비통(톱밥/낙엽) 관찰 일지

4호 (9월 21일 설치)

관찰자: 이해나

| 날짜 | 날씨 | 관찰시간 | 온도 | 염도 | pH | 톱밥/낙엽 | 발효상태 | 비고 |
|-------|----|-------|------|-----|------|--------|--------|------------------------------|
| 9/21 | 맑음 | 15:30 | | 0.0 | 6.54 | 톱밥, 낙엽 | | 교반후 |
| 9/29 | 맑음 | 13:40 | 28.5 | 0.0 | 5.51 | 추가없음 | | |
| 10/9 | 맑음 | 15:35 | 39.4 | 0.0 | 8.14 | 추가없음 | | |
| 10/19 | 맑음 | 15:30 | 33.5 | 0.0 | 8.67 | | 전반적 양호 | 돼지똥 때문인지 냄새남, 하단이 더 건조 |
| 10/26 | 맑음 | 15:30 | 28.7 | 0.1 | 7.33 | | | |
| 11/2 | 맑음 | 15:30 | 7.7 | 0.1 | 7.36 | | | 함수율 63% |
| 11/9 | 맑음 | 15:30 | 10.5 | 0.1 | 7.67 | | | 하단 냄새 덜함 |
| | | | | | 7.70 | | | |
| 11/16 | 맑음 | 15:30 | 4.6 | 0.0 | 7.06 | | | 냄새 x |
| | | | | | 7.67 | | | |
| 11/23 | 맑음 | 16:10 | 4.0 | 0.1 | 8.02 | | | |
| | | | | | 8.98 | | | |
| 11/30 | 맑음 | 16:15 | 1.0 | 0.1 | 8.62 | | | |
| | | | | | 9.01 | | | |

5호 (9월 28일 설치)

| | | | | | | | | |
|-------|----|-------|------|-----|------|------|----|----------------|
| 9/29 | 맑음 | 13:30 | 28.7 | 0.0 | 4.73 | 추가없음 | 양호 | 28일 제작 |
| 10/19 | 맑음 | 15:30 | 26.6 | 0.1 | 7.85 | | | 기름기 있음 |
| 10/26 | 맑음 | 15:30 | 36.3 | 0.1 | 8.33 | | | |
| 11/2 | 맑음 | 15:30 | 29.4 | 0.1 | 7.12 | | | 함수율 60% |
| | | | | | 7.52 | | | |
| 11/9 | 맑음 | 15:30 | 29.2 | 0.1 | 7.47 | | | 하단 냄새, 발효 x |
| | | | | | 7.85 | | | |
| 11/16 | 맑음 | 15:30 | 9.6 | 0.1 | 7.68 | | | 하단 냄새 |
| | | | | | 7.86 | | | |
| 11/23 | | 16:00 | 5.5 | 0.1 | 8.02 | | | |
| | | | | | 7.78 | | | |

6호 (10월 9일 설치)

| | | | | | | | | |
|-------|----|-------|------|-----|------|--------------|-------|--------------------------|
| 10/9 | 맑음 | 15:35 | | 0.1 | | 원료만 | | 교반 전 |
| | | | | 0.0 | 6.66 | 톱밥만 | | 참치, 닭고기 |
| 10/19 | 맑음 | 15:30 | 20.7 | 0.1 | 8.92 | (젖은) 톱밥추가 | 습기 많음 | 하얀실같은 곰팡이가 테두리에 생김 |

26 유기농업과 지속가능성

| | | | | | | | | |
|-------|----|-------|------|-----|------|--|-------|--------------------|
| 10/26 | 맑음 | 15:30 | 25.1 | 0.1 | 8.97 | | | 곰팡이 사라짐 |
| 11/2 | 맑음 | 15:30 | 8.1 | 0.1 | 8.51 | | | 양 많이 줄어듬 |
| | | | | | 8.41 | | | |
| 11/9 | 맑음 | 15:30 | 10.1 | 0.1 | 7.89 | | 냄새 x | 함수율 59% |
| | | | | | 8.35 | | | |
| 11/16 | 맑음 | 15:30 | 5.4 | 0.0 | 7.78 | | 냄새 x | |
| | | | | | 8.39 | | 양호 | |
| 11/23 | 맑음 | 15:50 | 4 | 0.1 | 7.63 | | 톱밥 추가 | |
| | | | | | 9.04 | | | |
| 11/30 | 맑음 | 15:45 | 2 | 0.0 | 9.19 | | | 수분 많고 혐기 발효로 추정 |
| | | | | | 9.40 | | | |

7호 (10월 19일 설치)

| | | | | | | | | |
|-------|----|-------|------|-----|------|----|------------|--------|
| 10/19 | 맑음 | 16:00 | | 0.1 | 4.78 | 톱밥 | | 교반 후 |
| 10/26 | 맑음 | 15:30 | 36.8 | 0.1 | 9.19 | | 진행 거의안됨 | 휘발성 냄새 |
| 11/2 | 맑음 | 15:30 | 8.8 | 0.0 | 7.66 | 톱밥 | 푸른곰팡이 | |
| 11/9 | 맑음 | 15:30 | 12.2 | 0.0 | 7.86 | | 발효로 안보임 | 휘발성 냄새 |
| | | | | | 7.86 | | | |
| 11/16 | 맑음 | 15:30 | 4.7 | 0.0 | 8.21 | | 발효로 안보임 | 냄새 남 |
| | | | | | 8.19 | | | |
| 11/23 | 맑음 | 16:25 | 5.0 | 0.0 | 8.61 | | | |
| | | | | | 8.61 | | | |
| 11/30 | 맑음 | 16:25 | 1.0 | 0.0 | 8.89 | | | |
| | | | | | 9.03 | | | |

8호 (10월 26일 설치)


| | | | | | | | | |
|-------|----|-------|------|-----|------|----|--|--------------|
| 10/26 | 맑음 | 15:30 | | 0.0 | 7.05 | | | 꽃게 |
| 11/2 | 맑음 | 15:30 | 20.9 | 0.1 | 5.30 | 톱밥 | | 하얀곰팡이, 썩은 냄새 |
| 11/9 | 맑음 | 15:30 | 28.4 | 0.1 | 8.78 | 톱밥 | | 썩은 냄새 |
| 11/16 | 맑음 | 15:30 | 8.6 | 0.1 | 8.91 | | | |
| | | | | | 8.90 | | | |
| 11/23 | 맑음 | 16:40 | 5.5 | 0.0 | 8.99 | | | |
| | | | | | 9.13 | | | |
| 11/30 | 맑음 | 16:45 | 1.0 | 0.0 | 9.46 | | | |
| | | | | | 9.22 | | | |

9호 (11월 2일 설치)

| | | | | | | | | |
|-------|----|-------|------|-----|------|----|--------------|----------------|
| 11/2 | 맑음 | 15:30 | | 0.0 | 5.90 | 톱밥 | | |
| 11/9 | 맑음 | 15:30 | 34.8 | 0.1 | 5.43 | | | |
| | | | | | 4.57 | | | |
| 11/16 | 맑음 | 15:30 | 18.1 | 0.1 | 8.97 | | 뒤집으니 열이 남 | 냄새 많고 열 많이남 |
| | | | | | 8.90 | | | |
| 11/23 | 맑음 | 16:40 | 9.0 | 0.1 | 9.52 | | | |
| | | | | | 9.27 | | | |
| 11/30 | 맑음 | 16:50 | 1.0 | 0.1 | 9.74 | | | 상태 매우 안 좋음 |
| | | | | | 9.62 | | | |


[별첨자료 3]

음식물퇴비 결과물에 대한 성분 분석표

| | | | | |
|---|---------|---|---------|--------------|
| 발급번호 : 12-FER-4-00794 <h2 style="text-align: center;">분 석 성 적 서</h2> | | | | |
| ① 의 뢰 인 | 성 명 | 농업회사법인(주)텃밭보급소 | 사업자등록번호 | 212-81-95604 |
| | 주 소 | 134-822 서울특별시 강동구 양재대로 1396 (둔촌동) 원천빌딩 1층 1-19호 | | |
| ② 의 뢰 내 용 | 대상 물품명 | 음식물 잔반 호기발효 퇴비 1호 | | |
| | 시 험 개 요 | 15항목: 유기물 외 | | |
| | 용 도 | 보고서 작성용 | | |
| ③ 분석(시험) 성적 : | | | | |
| 항 목 | | 성 적(단위) | 비고 | |
| 유기물(건물중 기준) | | 96.52 % | | |
| 비소(건물중 기준) | | 흔적 - 불검출 | | |
| 카드뮴(건물중 기준) | | 흔적 | | |
| 수은(건물중 기준) | | 흔적 | | |
| 납(건물중 기준) | | 흔적 | | |
| 크롬(건물중 기준) | | 흔적 | | |
| 구리(건물중 기준) | | 19.71 mg/kg | | |
| 니켈(건물중 기준) | | 흔적 | | |
| 아연(건물중 기준) | | 43.44 mg/kg | | |
| 유기물 대 질소의 비 | | 37.13 | | |
| 염분(건물중 기준) | | 1.19 % | | |
| 수분 | | 71.63 % | | |
| 부숙도(중자발아법) | | 76.6 | | |
| E. coli O157:H7 | | 불검출 | | |
| Salmonella spp.(정성) | | 불검출 | | |
| | | 이하 여백 | | |
| 「농업기술실용화재단 분석검정 의뢰 및 처리규정」 제4조의 규정에 의하여 2012년 12월 20일 자로 의뢰한 시료에 대한 분석(시험) 성적입니다. 2013년 01월 07일 | | | | |
| <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; display: inline-block; color: red;"> 이 성적은 신청인이 제출한 시료를 분석한 것으로 관련사항 이외의 선전 소송 등 증거자료로 사용하지 수 없습니다. </div> | | | | |
| 농업 기술 실 용 화 재 단 이 사 장  | | | | |

※ 대장균 O157:H7과 살모넬라균(Salmonella spp.) 불검출 결과가 나왔다. 염분은 기준치 2% 이하로 나왔고 수분은 좀 과다하게 나왔다. 수분 함량이 상품화 기준치인 50% 이상이 되어 상품화는 어렵지만, 가정용으로는 별 문제가 없다고 할 수 있겠다. 그 외 중금속 결과가 흔적이라고 되어 있는 것은 불검출에 가까운 기준치 이하로 나왔다는 뜻이다.

음식물퇴비 결과물 시험성적서

| | | | |
|---|----------|---|--|
| 제 13-05-0002 | |  흙살림 HEUKSALIM | |
| 주소 : 충북 청원군 오창면 각리 642-6 www.heuksalim.com TEL: (043) 216-8179, FAX: (043) 216-2959 | | | |
| 시 험 성 적 서 | | | |
| 의뢰인 | 업체명 | 텃밭보급소 | |
| | 주소 | 서울특별시 강동구 둔촌동 118-1 | |
| 시료명 | | 퇴비(강동) | |
| 의뢰목적 | | 품질 검사 | |
| 접수일 | | 2012년 12월 27일 | |
| 시 험 결 과 | | | |
| 항목 | 규격기준(%) | 결과 | 비고 |
| 질소(%) | - | 1.85 | * 분석방법 : 농촌진흥청 비료분석법에 준함 * 부속도 측정 : 종자발아법 |
| 인산(%) | - | 0.07 | |
| 가리(%) | - | 0.15 | |
| 유기물(%) | 건물중에 대하여 | 89.17 (현물중 26.70) | |
| 유기물대질소비비(%) | - | 14.40 | |
| 비소(mg/kg) | - | 불검출 | |
| 카드뮴(mg/kg) | - | 불검출 | |
| 수은(mg/kg) | - | 불검출 | |
| 납(mg/kg) | - | 2.51 | |
| 크롬(mg/kg) | 건물중에 대하여 | 11.05 | |
| 구리(mg/kg) | - | 불검출 | |
| 니켈(mg/kg) | - | 0.95 | |
| 아연(mg/kg) | - | 29.04 | |
| 염분(mg/kg) | - | 0.49 | |
| 수분(%) | - | 70.06 | |
| 칼슘(%) | - | 0.38 | |
| 마그네슘(%) | - | 0.07 | |
| 부속도 | - | 75.7 | |
| 대장균 O157:H7 | - | 불검출 | |
| 살모넬라 | - | 불검출 | |
| pH | - | 7.89 | |
| EC | - | 2.087 | |
| * 이 성적서는 의뢰자가 제공한 시료에 대한 결과로서 용도 이외에 선전, 소송, 기타 법적 요건으로 사용할 수 없음. | | | |
| 2013년 01월 08일 (주)흙 살 림 부설연구소 농촌진흥청 비료 이화학 분석 시험연구기관 농촌진흥청 비료 재배 시험연구기관 | | | |

※ 실용화재단의 분석결과와 별 차이 없게 나왔음을 알 수 있다. 다만 몇가지 항목에서 결과의 수치가 약간씩 차이가 있는데 이는 연구소의 테스트 방법과 시약의 차이, 그리고 환경의 차이에 따른 결과로 보인다. 해당 기관에 의뢰한 결과, 기준치를 만족하고 있는지가 중요하며 나타난 차이는 큰 문제가 아니라는 소견을 보내왔다.