

## 절수 염분제거에 의한 음식물류 폐기물 퇴비화 시스템 개발

한 두 희<sup>1\*</sup>

### Developmet of Food Waste Fermentation System by Low Water-Ratio Salt Minimization

Doo Hee Han<sup>1\*</sup>

**요 약** 2005년부터 도시 지역에서는 음식물 쓰레기 재활용 시설을 완료하여야 한다. 기존에 시설된 음식물 재활용 설비는 염분을 적절히 제거하지 못하여 퇴비로 사용할 경우 농작물에 해가 되는 경우가 많았다. 하수처리장과 연계하여 음식물류 폐기물의 300% 정도의 물을 첨가하여 희석하는 방법이 염분제거에 효과적으로 사용되나, 처리장이 하수처리장과 연계할 수 없으면 이것은 새로운 오염원이 된다. 이 논문에서는 물을 적게 사용하여 염분을 효과적으로 제거할 수 있는 방법을 제시한다. 효과적인 초기 파쇄공정을 통하여 0.3%미만으로 염분을 저감하였고 완숙퇴비를 얻기 위하여 원칙외선 가열을 적용하였다.

**Abstract** The food wastes recycling system should be constructed before 2005 in the city area. In order to manufacture the good compost, salt remaining rate should be minimized. We studied the effective method of minimizing salt ratio by diluting with low water ratio. We got the salt remaining ratio less than 0.3% by effective fragmentation method, and we applied the IR heating in order to make good compost.

**Key Words** : environment, recycling, food waste, salt, compost

#### 1. 서 론

음식물류 폐기물은 지하수 등의 오염의 원인이 되므로 사료, 퇴비, 연료 등으로 재활용되는 것이 바람직하다. 사료로 사용되는 경우는 독성 등의 이유로 오리나 지렁이 사육 등 일부 사용되고 있다. RDF 연료는 새로운 돌파구 중의 하나로 개발이 진행되고 있으나 연료의 품질을 일정하게 향상시켜야 하는 과제를 안고 있다. 오래 동안 연구되어지고 개발되어진 방법인 퇴비화는 미숙성, 염분 과다 등으로 농가로부터 크게 환영받지 못한 면이 있다. 숙성 문제는 시간을 길게 잡으면 해결이 되지만 염분제거는 근본적으로 해결하여야 할 과제인데, 염분이 물에 잘 녹기 때문에 분쇄 후 용수를 첨가하여 희석하는 방법이 가장 우수한 염분 제거 효과를 나타낸다. 보통 음식물류 폐기물의 양에 비하여 2-3배의 공업용수를 첨가하는 방법을 사용하는데 폐수처리장 부근에 설치되어 탈리액을 폐수와 함께 처리하지 않을 경우 탈리액의 처리가 문제가 된다. 많은 지역의 폐기

물 처리장이 하수처리장과 별도의 장소에 설치가 된 경우가 많으므로 물을 소량사용하면서 염분을 효과적으로 제거할 수 있는 방안이 필요하며 효과적인 파쇄과정을 통하여 0.3% 미만의 염분 함유율을 달성할 수 있는 방안을 제시한다. 또한 미성숙 퇴비의 문제점을 효과적으로 해결하기 위한 원칙외선 가열을 통한 발효촉진 방안을 제시한다.

#### 2. 톱밥등 첨가 방식의 문제점

토양에는 많은 미생물이 존재하는데 박토 1g에는 3천 마리, 옥토에는 수천 만 마리가 존재한다. 퇴비를 농토에 주면 퇴비 중 질소와 인, 유기물을 미생물이 섭취하고 효소를 분비하게 된다. 식물은 그 효소를 섭취하여 앞으로 이송되고 효소는 태양광에 의해 탄소동화작용 등의 화학적 작용으로 뿌리나 가지에서 큰 열매를 형성하게 된다. 따라서 염분이 과다하게 들어가면 미생물이 죽으므로 옥토를 박토로 만드는 결과를 초래하기 때문이다. 모든 농작물 50%이상이 염농도 0.3%에서 수확이 50%가 감소되고 벼와 같은 일부농작물만이 0.5%에서 수확이 50%이상 감소된다[1]. 따라서 염분제거는 현재 법으로는 1% 미만으로 되어 있지만 최소한

이 논문은 2005년도 청운대학교 학술연구조성비 및 충남 환경기술개발센터의 일부 지원에 의해 연구되었음.

<sup>1</sup>청운대학교 건축공학과

\*교신저자: 한두희(dhhan@chungwoon.ac.kr)

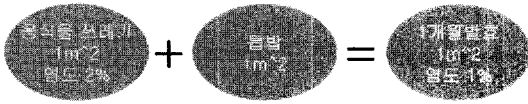


그림 1. 톱밥 첨가 염분 저감의 원리

0.1% 미만이 되어야 마땅하다. 한편 음식물쓰레기의 염분농도를 농업진흥청 산하 농업과학기술원이 조사 발표한 자료에 의하면 서울 도심의 음식물쓰레기 50여 곳을 무작위로 수거하여 염도를 확인해본 결과 90% 수분이 함유된 음식물 쓰레기에서 평균 염도가 4.84%로 확인되어 발표한바 있다.

그림 1에서는 염분농도 2%를 건분으로 하여 톱밥 등의 첨가 원리를 설명하며 염분을 제거하지 않고 이물질 을 배합하여 염분 비율이 적은 것처럼 꾸미는 것인데 톱밥은 섬유질이 많아 1년 이상 발효되어야 하나 1개월 만 지나도 완숙된 퇴비와 색깔이 비슷해진다. 통상 염분을 저감하는 방법은 톱밥과 같은 수분 조절제를 넣어 발효시 발생하는 수분을 흡수시킴과 동시에 염분의 농도 저감효과를 얻는다. 음식쓰레기 50% 톱밥 50%를 혼합하는 이 방법은 많이 채택하여 사용하는 방법인데 이러한 퇴비를 사용한 토양의 환경변화 평가에서 잔류한 염분의 염류농도는 1.32%로 조사되었다[2]. 미완숙된 퇴비를 사용할 경우 발효와 함께 유해 가스가 발생하여 농작물에 피해를 주며 8개월 후에 완숙된 퇴비를 사용하여도 부피가 1/5 정도로 축소되어 3% 이상의 염분농도를 가진 퇴비를 시비하는 결과를 낳게 된다. 농업과학기술원의 음식물 쓰레기 연용 효과에 따르면 4회 연속시 42%, 6회 연속시 51%의 농작물 수확 감수를 가져와 급기야는 농도를 황폐화 하는 결과를 가져온다.

### 3. 절수 희석 방식의 염분 제거 공정

#### 3.1 하수 처리장 부근의 염분제거 공정

수분함량 70%에서 염분농도 0.1% 달성은 물희석 방식으로 달성할 수 있다. 부상분리 형식의 희석교반조에 희석수를 첨가하여 음식물쓰레기 중 이물질을 선별하고 염분을 감소시킨 후 2단계의 파쇄기와 스크류탈수기를 통하여 함수율을 70% 이내로 탈수하고 수분조절제와 혼합한 후 호기성 조건으로 유기물을 분해함으로써 퇴



그림 2. 물세척 방식의 원리

비화 하는 기술이 새로 적용되고 있다[3]. 염분 제거방법은 음식물 처리량 1톤당 2.55톤의 희석수를 사용하여 염분을 세척하여 제거하며, 이때 제거율은 투입대비 86.1%의 염분을 제거하여 최종퇴비의 염분농도 0.21% 유지할 수 있다. 우수한 탈수효율 유지로 수분조절제로 사용하고 있는 톱밥사용량이 투입쓰레기 대비 약 4% (타공법은 약 20%)로써 운영비용을 대폭 절감 할 수 있으며 음식물보다 유기물 분해속도가 상대적으로 느린 톱밥이 소량투입 되므로 유기물 분해속도가 상대적으로 빠르다. 상대적으로 처리 후 물의 양이 많은 단점이 있으나 하수종말처리장과 연계하여 처리한다. 악취는 악취제거 장치를 외부에 별도로 장치하여 탈취한다.

#### 3.2 절수 희석 방식의 염분 제거 공정

음식물류 폐기물의 퇴비화 시설에 있어서 폐수 발생을 최소화 하는 것은 중요하다. 특히 폐수처리장 부근이 아닌 곳에 설치된 처리장의 폐수량은 처리 비용과 직결이 된다. 이를 해결하기 위한 방안을 살펴보면, 음식물류 폐기물 투입 초기에 미세한 조각으로 분쇄한 후 여기에 소량의 물을 첨가하여 고압 탈수를 하여 함수율을 최소로 줄이는 방법이 가장 명확한 방법이다. 분리수거를 할 경우는 미리 볼 수 있지만 쓰레기 봉지에 넣어 처리하는 음식물류 폐기물의 내용물은 균일하지 않아 돼지 머리, 배추 포기, 호박이나 수박, 돌덩어리 등이 포함되어 있을 수 있어 처리기에 들어갈 경우 기계의 고장을 초래할 수 있다. 따라서 호퍼에 투입하기 전 초기 파쇄 및 선별이 매우 중요하다. 초기 파쇄는 수거용 자동차가 음식물류 폐기물을 고속 파쇄기가 설치된 호퍼에 투입하도록 하여 직하방에 설치된 호퍼에 떨어지도록 한다. 고속파쇄기는 하우징 내부에 양측으로 구성된 축에 여러개의 파쇄날을 설치하고 바깥에는 일정한 규격이상의 파쇄물이 통과할 수 없도록 고정 파쇄날을 설치한다. 파쇄날과 고정날이 맞물려 회전하여 일정 크기 이상의 돌과 쇳붙이는 파쇄날 위에 남아 있고 늪은 호박과 돼지 머리 등은 파쇄되어 호퍼로 떨어진다. 음식물류 폐기물을 투입하면서 처리량 대비 30%정도의 물을 공급하며 파쇄한다. 이때 작은 음식물류 폐기물은 파쇄기를 통과하고 돼지머리와 같은 조대 음식물 쓰레기는 파쇄기에 설치된 파쇄날에 의하여 파쇄된다. 이때 대형 돌과 쇳붙이 등은 파쇄기 상단에 남아 있거나 파쇄기가 가동중단되므로 인위적으로 제거하거나 배출구로 배출시킨다. 통과한 음식물류 폐기물은 호퍼에 저장되었다가 이송 중에 이송장치 상단에 설치되어 회전하는 벨트에 갈고리로 구성된 비닐 제거장치를 이용하여 비닐을 제거한다. 비닐 봉지가 제거된 음식물류 폐기물은 진동 스크린 또는 드럼스크린 등의 이물질 선

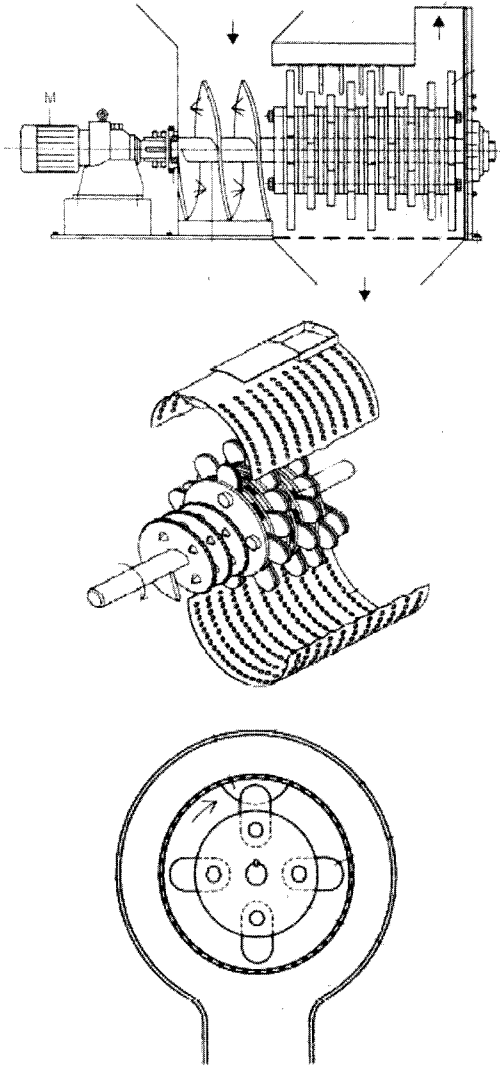


그림 3. 고속파쇄기 설치 예

별장치에서 요구르트병 등의 이물질 제거한다. 파쇄 및 이물질 선별장치를 쓸 경우 음식물류 폐기물 처리 시스템에 재별 또는 3단계 적용하여 분쇄장치로 사용할 경우 5 mm의 천공구를 만들어 5 mm 이상의 쇠붙이와 같은 이물질을 선별한다. 이물질 선별장치는 파손이 되지 않고 이물질 토출구가 있어 분쇄가 불가능한 물질은 내보내도록 구성한다. 따라서 호퍼에 투입된 음식물류 폐기물을 고속파쇄하는 동시에 비닐 봉지를 비롯한 돌 등의 이물질을 선별한 다음 호퍼에 저장하므로 공급 장치의 중단이나 고장을 미연에 방지하며 물을 최대한 절약하여 염분을 제거할 수 있다.

이물질 선별장치 유기물 토출구를 통과한 유기물은 이송 수단에 의하여 1차 탈수장치에서 수분을 탈수하고

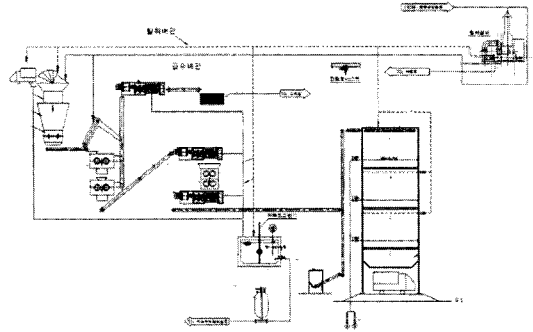


그림 4. 절수 염분제거 퇴비화 라인의 예

탈수된 케익은 염분제거용 물을 공급하며 재파쇄 및 분쇄하여 2차 탈수한다. 2차 탈수된 케익은 이송수단에 통해 퇴비발효장으로 이송한다.

#### 4. 원적외선 보조 가열에 의한 퇴비 발효

탈수장치에서 탈수된 케익의 함수율은 80-85%로 발효를 원활하게 하기 위해서 건조시키거나 톱밥등을 투입하여 함수율을 60-65%로 조절하여 산소공급장치와 교반장치로 구성된 퇴비발효장으로 보낸다. 음식물류 폐기물이 다량의 물을 함유하고 있으므로 건조화 발효 과정에 원적외선을 적용하면 효과적이다.

##### 4.1 원적외선 가열의 일반적인 특성

원적외선 복사에 의하여 물체의 온도가 상승하는 것은 원적외선의 복사에너지가 물체에 흡수되기 때문이다. 원적외선 복사에너지가 흡수되는 정도는 물질에 따라 다르지만 일반적으로 플라스틱과 식품 등의 고분자 물질은 원적외선 복사를 잘 흡수하는 물질이다. 원적외선이 물질에 가해지면 원자는 결합각을 변화하는 변각 운동, 병진 운동, 회전 운동, 원자 사이의 거리를 줄였다 늘었다 하는 신축 운동 등을 하게 된다. 분자의 진동 특성은 분자의 구조에 따라 달라진다. 원적외선이 고분자 물질에 복사될 때 원적외선의 진동수와 분자의 진동수가 일치하면 공명현상에 의하여 원적외선 복사에너지의 흡수가 극대화된다. 원적외선 가열의 특성은 고분자 물질 등에서 흡수성이 좋으며, 전자파의 일반적인 성질인 직진성과 반사특성을 갖는다는 것이며, 가열온도는 피가열체와의 거리의 제곱에 반비례한다. 전도나 대류 등의 간접가열이 아니라 직접가열이기 때문에 가열효과가 크며, 가열물과 비접촉으로 가열하게 되면 표면가열이 지나치게 되지 않기 때문에 식품을 굽는 것 등에 효과적이다. 또한 복사체와 흡수체의 온도차가 크기 때문에

표 1. 가열원의 특징

항목	전기식 원적외선 가열	적외선 전구에 의한 가열	연소식 열풍로에 의한 가열
가열 효과	매우 양호	양호	불량
설비비	양호	양호	불량
운전비	양호	보통	양호
온도 제어	매우 양호	매우 양호	보통
설비 공간	매우 양호	매우 양호	보통
조작성	매우 양호	매우 양호	보통
수명	매우 양호	불량	보통
안전성	매우 양호	양호	보통
온도상승시간	양호	매우 양호	보통
환경 공해	매우 양호	양호	불량

가열 공정의 후반에서도 가열 효과가 높아 시간이 절약되며, 가열로가 작아도 되므로 설비의 설치 면적이 줄어들어 제작비용이 줄어든다. 운전이 필요한 에너지 양이 절감되어 운전비용이 줄어들며 진공 속에서도 복사열은 전달되기 때문에 저온에서 수분 건조를 촉진하여 물질에 열변화의 정도가 적은 건조를 할 수 있다. 전기식 원적외선 가열은 온도 제어성이 좋고 균일한 가열이 가능하여 고성능 고품질의 가열처리를 할 수 있으며, 온도의 자동 제어가 가능하며 배기 gas와 매연, 가스 냄새 등이 없어 청정 가열이 가능하다. 또한 안전성, 내구성 등이 좋아 조작성이 간단하고 보수도 쉽다. 원적외선 가열에 의하여 부수적으로 얻어지는 효과는 살균 효과 및 숙성 발효 효과가 있다. 원적외선 가열과 다른 열원의 특징을 비교하면 표 1과 같다.

전기식의 원적외선 가열이 상대적으로 우수한 것을 알 수 있다.

4.2 물과 원적외선

음식물 쓰레기의 많은 부분은 물로 구성되어 있다. 원적외선 가열에 사용되는 2.5-30 μ영역은 0.5-0.04eV 정도의 작은 광자에너지를 갖기 때문에 화학작용은 거의 하지 않는다. 이 범위의 광양자 에너지는 물질의 분자진동이나 결정의 격자 진동을 여기시키는 수준이다. 원적외선 영역에서 물분자의 운동은 세가지의 기본 형태가 있다.

그림 2에서 흡수 파장대를 2.7, 6.3, 10 μm로 보면 Wien의 법칙에 의하여 800, 190, 17°C 부근이 물의 활성화에 좋은 영역일 것이다.

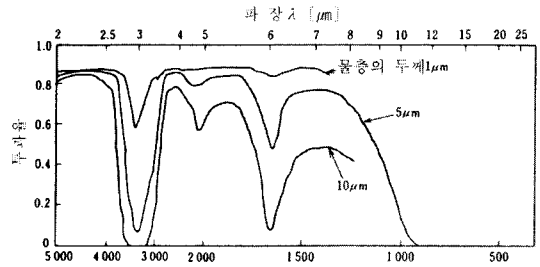


그림 5. 물의 원적외선 스펙트럼

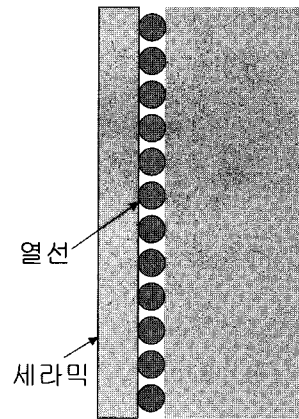


그림 6. 원적외선 발열체 예

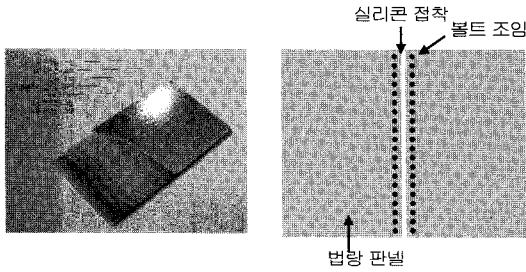
4.3 원적외선 가열의 적용

산소공급이 원활하고 교반장치가 구성되어 있는 발효공간의 벽체 하단부에 1m 정도의 간격으로 500-1,000W 정도 출력의 원적외선 발열장치를 구성하여 가동한다. 설치 장소에 따라서는 가능하면 바닥에 설치하고 교반하면 효과적이다. 세라믹의 파손을 막기 위하여 법랑을 입힌 철판을 시공하는 것도 바람직하다. 법랑을 입힌 철판은 액비 저장 탱크 등 발효 장치에 이미 사용이 되고 있기 때문에 시공이 가능하다. 또한 세라믹 발열판 주위에 송풍장치를 활용하면 복사열과 대류열을 동시에 활용할 수 있으므로 좋은 대안이 된다. 원적외선 보조 가열은 음식물류 폐기물 케익의 함수율을 조절하고 발효 속도를 향상시키는 효과를 얻을 수 있다.

5. 절수 염분저감공정을 적용한 퇴비화

5.1 호기성 발효의 경우

수거차량이 수거된 음식물 쓰레기를 호퍼에 넣을 때 고속 분쇄와 더불어 음식물 쓰레기 양의 30%정도의 물을 분무 희석한다. 이것은 호퍼에 일시 저장되었다가 비닐제거 과정을 거쳐 2차 파쇄 후 혐잡물을 분리하고 1차 탈수한다. 이때 탈리액은 침출수와 함께 폐수 처리



판넬의 단면구조

판넬의 조립 개략도

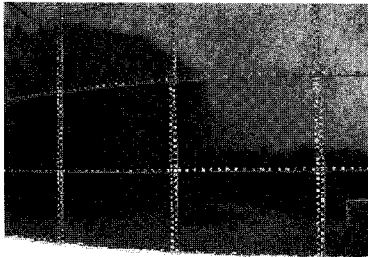


그림 7. 법랑 판넬의 시공 예

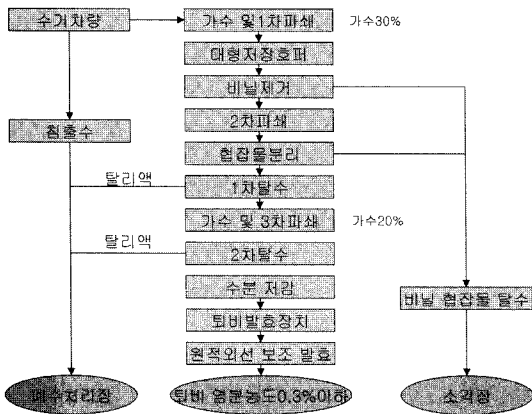


그림 8. 절수 염분저감의 처리 공정

장으로 이송한다. 탈수된 음식물 쓰레기는 다시 20% 정도의 물을 가하여 3차 파쇄한 후 2차 탈수하여 수분을 60% 정도로 저감시킨 후 퇴비발효장치로 이송하여 원적외선 보조 발효 등으로 발효시킨다. 비닐 협잡물 등은 탈수한 후 소각장으로 보내 소각한다. 이러한 공정은 그림 8에 간단히 소개되어 있다. 이 공정은 E기업의 공정라인을 일부 적용하였다.

## 5.2 고속발효시스템의 염분제거

### 5.2.1 처리 방식

가. 통상 혐기성 고속 발효 건조방식에 의한 연동식

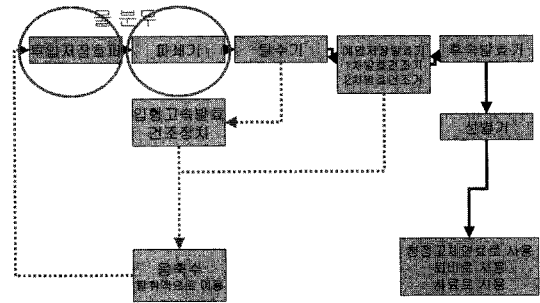


그림 9. 고속발효시스템의 처리 공정도

고속발효건조장치를 사용한다.

나. 기류 내부 순환식에 의한 완전 밀폐식 처리 방법을 사용한다.

다. 외부 첨가물 없이 음식물류 폐기물로만 처리하여 고농축 발효 건조시켜 최대한 감량할 수 있다.

### 5.1.2 처리 기술의 특징

가. 단시간에 발효 건조에 의해 감량시킬 수 있는 기술 집약적 설비 장치이다.

- 외부 첨가물을 사용하지 않고 음식물류 폐기물만 처리하여 단시간에 감량시킬 수 있다.
- 탈수 세척 처리과정 없이 처리하여 침출수 문제를 원천적으로 해결한다.
- 내부 기류 순환 구조로 악취발생을 근본적으로 차단한다.
- 배출된 폐열을 재순환시켜 연료를 최대한 절약할 수 있다.

나. 음식물류 폐기물은 단백질, 지방, 탄수화물로 구성되어 있고, 발효시키면 단백질은 아미노산으로 분해되고, 지방과 탄수화물은 유기산으로 분해되어 저분자 유기물로 변화하며 이를 농축시키면 가열원으로 활용할 수 있다는 원리에 입각하였다.

다. 부패하기 쉬운 유기물을 활용하여 강제로 발효건조과정을 거쳐 유기산이 농축된 고체연료를 만들고 이를 탄화시켜 가연성 가스를 얻고 탄화물은 착화시켜 연소되는 연소가스를 얻고 가연성 가스와 연소가스를 2차로 연소시킨다.

라. 부패하기 쉬운 유기물의 발효건조시나 연소할 때 유해물질이 발생하는 것을 근본적으로 차단하여 환경공해를 획기적으로 저감시킨다.

이 경우 투입저장호퍼 투입시와 파쇄후 탈수시 물을 분무하여 0.8%이하로 저감시킬 수 있었다. 표 2은 음식물 쓰레기를 혐기성 발효처리한 후의 고형 성분의 함량 비율을 나타내 준다[4].

표 2. 음식물 쓰레기 처리 후 고형 성분의 성분

H <sub>2</sub> O(%)	Ash(%)	Organics(%)						Heating Low Value (kcal/kg)	Specific Value (ton/m <sup>3</sup> )
		C	H	N	O	S	Cl		
17.8	10	41.1	7.0	2.51	18.9	0.45	2.24	4,432	0.35

## 6. 결론 및 고찰

2005년부터 도시지역에서는 음식물류 폐기물의 매립이 금지된다. 이를 위하여 지자체들이 처리 시설을 만들고 있지만 전량을 처리하는 것은 불가능한 것으로 보인다. 가장 우선적인 것은 음식물 쓰레기의 발생을 원천적으로 최소화하여야 한다는 것이다. 이를 위하여 범국민적인 캠페인과 함께 음식물 쓰레기가 버려지는 자원임을 인식하고 재활용할 수 있도록 최대한 협조하여야 한다. 음식물 쓰레기를 퇴비로 재활용할 경우 염분 제거와 완속시키는 것이 최대 관건인데, 염분 제거는 물 회석방식이 최선이며, 일반 쓰레기 처리장과 같이 하수 처리시설이 없는 곳에서는 초고속 파쇄와 더불어 절수 가수 방법을 사용하는 것이 추천할 만 하다. E기업과 연계하여 파일럿 규모에서 효과적인 파쇄과정을 통하여 0.3% 미만의 염분 함유율을 달성할 수 있었고 미성숙 퇴비의 문제점을 효과적으로 해결하기 위한 원적외선 가열을 통한 발효촉진 방안을 제시하였다. 고속 발효시스템의 경우는 S기업의 시스템에 적용하여본 결과 투입저장호퍼 투입시와 파쇄후 탈수시 물을 분무하여 0.8%이하로 저감시킬 수 있었다.

## 참고문헌

- [1] 농촌진흥청, "농토배양기술", 1998.
- [2] 농업과학기술원 홈페이지→연구분야→농업환경분야→참고자료.
- [3] 안재민, "부상분리형의 회석교반조와 파쇄기 및 스크류 탈수기를 이용한 음식물쓰레기 퇴비화 기술", 제4회 환경신기술발표회 발표집, 환경관리공단, 2003.
- [4] 삼원바이오(주), "음식물류 폐기물 자원화 시설설치 사업수행계획서", 2003.

한 두 희(Doo Hee Han)

[종신회원]



- 1981년 2월 : 경북대학교 사범대학 물리교육과(이학사)
- 1987년 2월 : 경북대학교 대학원 물리학과 (이학석사)
- 1994년 2월 : 경북대학교 대학원 물리학과 (이학박사)
- 1996년 3월~현재 : 청운대학교 건축공학과 교수

<관심분야>

물리응용분야, 환경분야, 전기전자분야