

# 농촌마을에서 자연발효형 화장실의 통기성 매질 이용에 관한 연구

강 방 훈\* · 조 순 재  
농업과학기술원 농촌자원개발연구소

## Utilization of the Bulking Agents for Environment-friendly Toilet in Rural Village

Kang, Bang Hun · Cho, Soon-Jae  
Rural Resources Development Institute, NIAST, Suwon, Korea

### ABSTRACT

The biodegradability test of bulking agents in feces composting process is conducted to increase the management efficiency for environment-friendly rural toilet developed by National Rural Resource Institute in 2001.

In the case study through references and field study, ash, fallen leaves, and wood chips are commonly used in the ecological toilet. Extension officers and farmers prefer rice straw, fallen leaves, and chaff among the rural resources as a bulking agents in the aspect of getting and storage as the result of questionnaire survey.

As the result of biodegradability test including the temperature change, CO<sub>2</sub> gas production, and C/N ratio change of composting pile under the condition of aerobic composting apparatus, rice straw and chaff are good bulking agents for environment-friendly rural toilet. It is recommended that easy getting materials among the above mentioned materials are used for bulking agents as the region and season in environment-friendly rural toilet.

Key words: bulking agents, composting, environment-friendly rural toilet

## I. 서론

농촌지역의 수질오염 경감을 위해 미국, 캐나다 등 북미지역은 물론이고 유럽과 아시아 여러 나라에서는 환경친화형 화장실의 하나로 자연발효형 퇴비화 화장실을 설치하여 용수 및 동력 절약 뿐만 아니라 환경오염 저감에 크게 기여하고 있다(Riggle, 1996; 윤광식 등, 2000). 국내에서도 주로 생태마을을 중심으로 자연발효형 화장실이 사용되고 있으며, 농촌자원개발연구소에서 자연발효형 화장실 형태의 환경친화형 농촌화장실 7개 유형을 개발(조순재, 2000)하여 2001년부터 농촌진흥청 시범사업으로 농가 및 마을단위에 보급이 되고 있는 실정이다.

환경친화형 화장실에서의 분뇨의 퇴비화는 유기성 폐자원을 안정화하고 재활용 할 수 있는 방법 중의 하나이다. 퇴비화 과정에서 퇴비의 품질과 부숙도에 영향을 미치는 중요한 인자로서는 수분함량, 공기 공급량, C/N비 등으로 알려져 있다(한정대, 1996). 분뇨와 같은 유기성 폐기물의 과도한 수분은 퇴비에 필요한 산소 공급을 차단해 퇴비를 혐기상태로 전환시켜 부숙의 지연을 초래한다. 따라서 과도한 수분을 제어할 목적으로 톱밥 등과 같은 통기성매질(bulking agent) 또는 conditioner를 사용한다. 투입된 분뇨는 통기성매질에 의해 수분의 양이 조절되며 또한 영양소를 공급시켜 분뇨가 분해 될 때 함께 분해되어 열을 생산하여 분뇨내의 병원균을 죽이며 아울러 분뇨를 분해시킨다. 분해 속도는 통기성 매질의 물리·화학적 성분에 따라 좌우된다. 퇴비화 화장실의 크기가 작을수록, 즉 단기간 내에 분해를 원하는 경우에는 빠른 분해 속도를 갖는 통기성매질이 필요하다고 볼 수 있다. 이 경우에는 화장실을 자주 청소해 주어야 하며 또한 통기성매질은 비교적 장기적으로 분해되기 때문에 유지관리는 쉬우나 병원균의 사멸여부가 불확실해진다. 아울러 통기성매질의 모양이 거칠면 그만큼 산소 전달이 쉬우나 그 모양이 거칠지 않으면 산소 전달이 늦어져서 미생물 분해에 영향을 주게 되어 혼합을 통한 산소공급이 필요하게 된다.

본 연구에서는 자연발효 원리를 사용하고 있

는 환경친화형 화장실의 관리효율을 높이기 위해 통기성매질의 사용사례, 통기성매질별 특성 비교와 생분해 실험을 수행하여 과학적 자료를 제시하여 농가에서 안전하고 쉽게 통기성매질을 사용할 수 있는 기초 자료를 제공하고자 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 농촌화장실 통기성매질 탐색

자연발효형 화장실에 사용할 수 있는 통기성매질로 이용가능한 농촌지역 부존자원의 종류를 시군농업기술센터 생활개선담당공무원 22명과 환경친화형 농촌화장실 사용농가 30명을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 사용되고 있는 통기성매질의 특성을 문헌분석을 통해 비교 정리하였다.

### 2. 통기성매질의 분해실험 및 잔류물 분석

#### 가. 연구대상 통기성매질

통기성매질의 분해실험은 농촌지역 부존자원 중 나무껍질, 왕겨, 벚짚, 대팻밥, 부엽토를 대상으로 실시하였다. 통기성매질의 일반적 특징은 수분 조절 능력이 있어야 하고, 입자간의 매트릭스를 지지하여 구조를 유지시켜 줘야 하며, 혼합물 사이의 공기 함량을 증가시키며, 혼합물 사이의 공기량과 공극양은 수분조절제의 형태와 크기에 따라서도 달라진다. 통기성매질의 사용량을 너무 적게 하면 재료간의 접촉 면적이 적어 공극량과 공기양이 증가하지 않으며, 통기성매질의 사용량이 너무 많으면 관리 노동력이 많이 들고 부재료의 소요량이 증가하여 물량처리 비용 및 사용하여야 할 토지 면적이 많이 소요된다는 것이다.

#### 나. 반응조 구성 및 사용된 분뇨의 성상

직경이 10cm, 높이가 100cm인 5개의 밀폐된 반응조에 각각 다른 시료들을 채운 후에 분뇨(동부 위생 처리장의 분뇨)를 투입해서 수분 함량을 60%로 조절하였다(Figure 1). 이 반응조는 밀폐된 상태에서 운전이 되도록 제작되었다. 반응조로 들어가는 공기량은 air flow meter를 이용하여 같은 양(5 l/분)이 들어가도록 하였으며 운전은 35℃ 항온실에서 수행하였다. 분뇨를 주입한 운전

초기에는 온도가 급격히 상승할 것으로 예상되었으며 운전 말기로 가면 온도가 저하될 것으로 예측하고 실험에 임하였다. 온도가 저하된 상태에서 다시 분뇨를 주입(spike test)하여 관찰하였다. 표 1은 본 연구에 사용된 분뇨의 성상이다. 동부 위생 처리장으로 유입되는 수거차로부터 수집한 분뇨의 성상은 서울시 분뇨의 특성과 유사하였다(Table 1).

Table 1. The characteristics of feces used in this study

Item*	Feces from Seoul Sewage Treatment Plant	This study
pH	7.0 - 7.2	6.4
TBOD (mg/ℓ)	18,030	16,070
TCOD <sub>cr</sub> (mg/ℓ)	54,100 - 55,276	48,760
SS (mg/ℓ)	40,310 - 42,690	35,650
TOC (mg/ℓ)	39,020 - 44,980	37,447
TKN (mg/ℓ)	3,982 - 4,212	4,150
C/N ratio	9.8 - 10.7	11.7
<i>E. coli</i> (number/100ml)	4.6×10 <sup>10</sup>	2.6×10 <sup>10</sup>

\* TBOD; Total Biological Oxygen Demand, TCOD<sub>cr</sub>, Total Chemical Oxygen Demand, SS; Suspended Solids, TOC; Total Organic Carbon, TKN; Total Kjeldahl Nitrogen, C/N ratio; Carbon/Nitrate Ratio

다. 분석 방법

모든 측정 방법은 *Standard Methods* (1998)에 따라 수행하였다. pH 측정은 토양화학공정 시험법에 따라 시료 대 증류수를 1:10(w:v)으로 섞어 잘 교반한 다음 30분 이상 방치한 후 현탁액을 검액으로 측정하였다. 이산화탄소 가스측정은 Gas Data PCO<sub>2</sub> (Gas Data Ltd, UK)를 사용하여 측정하였다. 각 반응조에서의 온도를 측정하기 위해서 봉 온도계를 이용하여 상층부에서 30cm부위(상층), 70 cm부위(하층)를 측정한 후 평균하여 반응온도로 하였다. 사용되는 통기성매질의 발열량은 Bomb Calorimeter로 측정하였다. 산소 소모량(dO/dt)은 20℃에서 각각의 시료를 공기가 포화된 증류수와 1:10(w:v)의 비로 혼합하여 미생물에 의한 산소 소모량 변화를 DO meter (YSI)를 사용하여 매일 측정하였다. 수용성 탄소

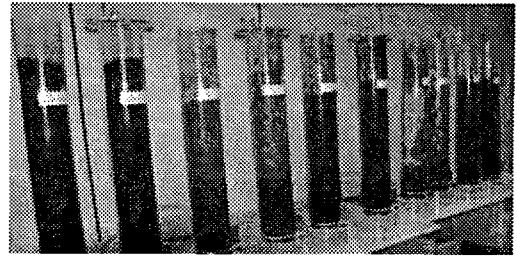


Figure 1. The closed reactor for biodegradation of bulking agents.

와 수용성 질소 측정을 위해 퇴비 시료와 멸균 증류수를 혼합(1:10)하여 2시간동안 진탕한 후 10,000 rpm에서 10분간 원심 분리한 상등액을 Whatman No. 42 filter paper로 여과하여 추출하였다. 이 추출액을 수용성 탄소와 질소의 분석용 시료로 하였다. 수용성 탄소는 변형한 Walkley Black 법(Hae & Evans, 1986)을 사용하였다. 분석용 시료 4ml를 15분간 0.167 M K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 2ml와 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5ml로 산화시켜 Ferrion을 지시약으로 사용하여 0.25 M FeSO<sub>4</sub>로 적정함으로써 수용성 탄소를 계산하였고, 수용성 질소의 분석은 분석용 시료 5ml를 취해서 가열하여 건조시켜 이를 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5ml와 1g의 촉매제(K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:CuSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O:Se의 비율이 100:10:1임)에 침지한 후 Kjeldahl법에 따라 분석하였다.

최종산물의 부산물비료로서의 사용가능 여부를 알아보기 위해서 유해중금속 수은, 비소, 구리, 납, 크롬, 카드뮴 등의 분석은 비료의 이화학적 분석 방법에 의해 수행하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 농촌화장실 통기성매질 탐색

농촌지역에서 이용되고 있는 자연발효형 화장실에서의 통기성매질 사용사례를 문헌과 현장조사를 통해 정리한 결과는 표 2와 같다. 고문헌 중에 박지원 과농소초에서 '재간'에서 재를 사용한 사례가 있다. 그 내용을 보면 '쓰레기에서 나오는 검불을 태워서 재를 만들고, 키질에서 나온 겨와 짚복대기, 가랑잎을 모아 태운 데에 비액을 뿌려 오래둔다' 이다. 유럽의 생태학적 화장실중

Table 2. The case survey of bulking agent use in Korea

Toilet	Location	Bulking agent		Remarks
		Type	Using period	
Ash toilet	Purunnuri village, Sangju-Si	ash, chaff	often	use as compost at vegetable garden
	Namsa village, Sancheong-Gun	ash	often	use as compost with rice straw
Haewooso	Sunam temple, Suncheon-Si	leaf mold, ash	often	use as compost
	Gaesim temple, Seosan-Si	fallen leaf	one per week	use as compost at vegetable garden
Ecological toilet	Sancheong-Gun	leaf mold	often	use as compost at vegetable garden
	Yesan-Gun	fallen leaf, ash	often	use as compost at vegetable garden
Tongsi	Seongup-Ri, Cheju	barley straw	often	use as compost at barley field
	Hamyang-Gun	dried grass, rice straw	one per 10 days	use as compost at orchard
Environmental-friendly toilet*	Kosung-Gun	rice straw	one per week	use as compost at vegetable garden
	Yeojoo-Gun	fallen leaf	one per month	use as compost at vegetable garden
	Jinan-Gun	wood chips	one per month	use as compost at vegetable garden
	Dangjin-Gun	chaff	one per week	use as compost at vegetable garden

\* 농촌생활연구소(2001)

의 하나인 Sorting Toilet에는 나무부스러기를 사용하고 있다(Uschi Eid, 2000). 사찰의 해우소와 생태마을 뒤간에서는 주로 재, 왕겨, 나뭇잎, 벼

짚 등을 사용하고 있었고, 이들의 최종 산물은 채마밭에 퇴비로 사용하고 있었다(Table 2). 농촌에 보급되고 있는 환경친화형 농촌화장실

Table 3. The general characteristics on bulking agents

Bulking agent	General Characteristics
Rice straw	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ ventilation improvement</li> <li>◦ easily degradation</li> <li>◦ strong water absorption</li> <li>◦ restricted period for getting</li> <li>◦ need the labor for getting</li> <li>◦ cut work necessity</li> </ul>
Chaff	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ ventilation improvement by big gap</li> <li>◦ less occurrence of oder gas</li> <li>◦ not good decomposition</li> <li>◦ weak water absorption</li> <li>◦ restricted period for getting</li> <li>◦ use the chaff produced in RPC</li> </ul>
Leaf mold	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ it is very useful when mix with excrementitious matter</li> <li>◦ much use in a mountain village</li> </ul>
Chips of plane	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ purchase is difficulty because outturn was not done scale</li> <li>◦ Because particle is not uniform, when mix, uniformity security is difficulty</li> <li>◦ use in the bathroom that user is few, Because decomposition is difficult</li> </ul>
Tree bark	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ ventilation improvement by big gap</li> <li>◦ use in the bathroom that user is few, Because decomposition is difficult</li> </ul>
Sawdust	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ ventilation improvement</li> <li>◦ strong water absorption</li> <li>◦ handling is easy</li> <li>◦ offensive odor adsorbability power</li> <li>◦ hard to purchase</li> <li>◦ safety problem in income material</li> <li>◦ not good decomposition</li> </ul>
Peat-moss in sale	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ ventilation improvement</li> <li>◦ strong water absorption</li> <li>◦ easy in storage and use</li> <li>◦ need of purchase cost</li> <li>◦ purchase is difficulty</li> </ul>

의 경우 확장실 설치 당시에는 개인 기업체에서 구입한 피트머스를 사용하고 있었으며, 그 외 볏짚, 낙엽, 나무부스러기, 왕겨 등을 사용하고 있었다. 개인 기업체에서 생산하고 있는 피트머스의 제조기술이 별도로 있는 것은 아니었다. 시장성의 문제 때문으로 제조기술의 개발에 대한 연구는 이루어지지 않고 있었다. 통기성매질로 쓰일 수 있는 물질은 퇴비화에 관여하는 미생물에 대한 유해성과 작물의 성장 장애 요인이 없어야 한다. 수분 흡수력이 크고 적절한 입도와 다공성 그리고 미생물의 활동에 적절한 영양소를 갖추고 있으며 원료의 확보가 용이하고, 무엇보다도 원료 수급의 용이성과 가격이 저렴하며 퇴비화 작업이 용이해야 한다. 이런 측면을 고려하여 농촌지역에 많은 부존자원 중 통기성매질로 사용가능한 것을 52명(생활개선담당공무원 22명, 농가 30명)을 대상으로 설문조사를 실시한 결과 볏짚, 낙엽, 왕겨, 부엽토, 톱밥 대팻밥 순으로 쉽게 구하고 보관이 용이하다는 결과를 얻었다.

설문조사 결과를 바탕으로 주요 통기성매질의 성상을 비교해 본 결과 분뇨발효에 중요한 역할을 하는 흡수율은 톱밥과 볏짚이 높게 나타났고, 탄질비(C/N ratio)는 톱밥과 왕겨가 높게 나타났다(Table 3).

## 2. 통기성매질의 분해실험 및 잔류물 분석

분뇨 분해과정에서 통기성매질의 생분해성 정도를 알아보기 위해 pH변화, 온도변화, 이산화탄

소 가스발생량과 탄질비를 비교하였다.

### 가. pH 변화 특성

초기 pH는 분뇨의 혼합비율에 따라 다른 결과를 보였으며 퇴비화가 진행 될수록 낮아져 중성으로 근접하는 경향을 보였다. 그 외 다른 통기성매질에서는 pH가 7.5 정도로 유지되었다(Figure 2).

### 나. 온도 변화

일반적으로 퇴비화에서 온도의 변화로 퇴비숙성도를 간접적으로 판단하는 경우가 많다. 퇴비화 기간동안 온도 증가는 퇴비화 과정 중 주로 생분해성 유기물에 대한 미생물의 대사에 기인된 것이며, 퇴비화 중기 이후에 온도의 급속한 감소로 판단되어지는 것은 퇴비화 미생물이 난분해성 유기물 분해단계에 접어든 것으로 사료된다. 결국 완숙단계에 들어서면서 실온에 가까워짐으로서 안정화가 이루어지고 있음을 보여준다. 본 연구에서도 마찬가지로 퇴비의 온도를 측정함으로써 부숙도를 측정하고자 하였다. 볏짚을 통기성매질로 사용한 경우, 퇴비화 시작 후 8일경에 최고 41℃까지 상승한 후 서서히 온도가 하강하여 퇴비가 완료되기 전까지 35℃를 나타냈다. 다른 통기성매질도 마찬가지로 온도 상승이 나타났지만, 분해가 잘 일어나지 않는 나무껍질과 부엽토의 온도 상승은 미미했다. 또한 본 연구에서는 수분 함량은 60%로 맞춰 운전했기 때문에 수

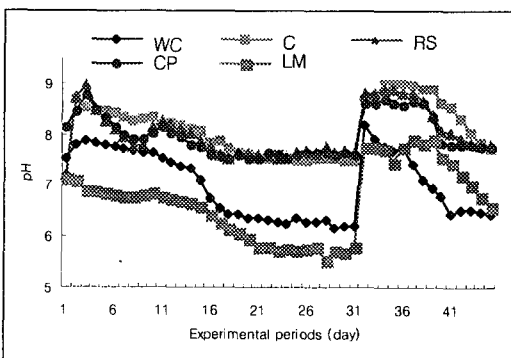


Figure 2. The variation of pH by composting periods(WC; Wood chips, C; Chaff, RS; Rice straw, CP; Chips of Plane, LM; Leaf mold).

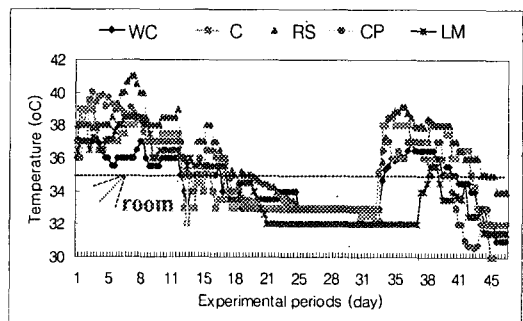


Figure 3. The variation of temperature by composting periods(WC; Wood chips, C; Chaff, RS; Rice straw, CP; Chips of Plane, LM; Leaf mold).

시로 수분 공급을 하여 수분의 증발 잠열로 인한 열손실로 인해 35℃에서 운전하였지만 그 이하로 나타나는 것을 알 수 있었다. 퇴비화 공정에서 또한 중요한 것이 병원균에 대한 문제인데, Raymond(1975)는 퇴비화 중 정체식 퇴비화 공법에서 퇴적더미 온도가 55℃이상이 3일 이상 유지되어야 종자의 불활성화 및 병원성 미생물의 사멸을 유도할 수 있다고 하였는데 본 실험결과 병원균에 대한 사멸 효과는 거의 없을 것이라고 사료된다(Figure 3).

다. 탄질비(C/N ratio) 및 이산화탄소 발생량 퇴비화에서 C/N비는 미생물의 분해대상인 기질의 특성에 관계된 것으로 퇴비화 영향인자 중

가장 중요한 인자이며 주로 반응속도론적인 면과 퇴비화후 생성된 퇴비의 질적인 면에 영향을 나타낸다고 보고되고 있다. 탄소는 미생물들이 성장하기 위한 에너지원으로 질소는 생장에 필요한 단백질 합성에 주로 쓰이는데, 보통 미생물 세포 자체의 C/N비는 5~15로 미생물에 의한 유기물의 분해는 유기물의 C/N비가 미생물 세포의 그것과 비슷해질 때까지 이루어져 처음에는 높으나 분해가 진행될수록 점차 낮아져 최종적으로 10정도가 된다. 퇴비화의 경우에는 분해하기 어려운 유기물도 많고 그 유기물의 탄소가 영양원이 되기도 어려우므로 C/N비는 위 값의 2배 전후(30-50)로 선택하여 운전하는 것이 일반적이다. 초기 C/N비가 너무 작으면, 즉 질소가 많으면 퇴비화 공정

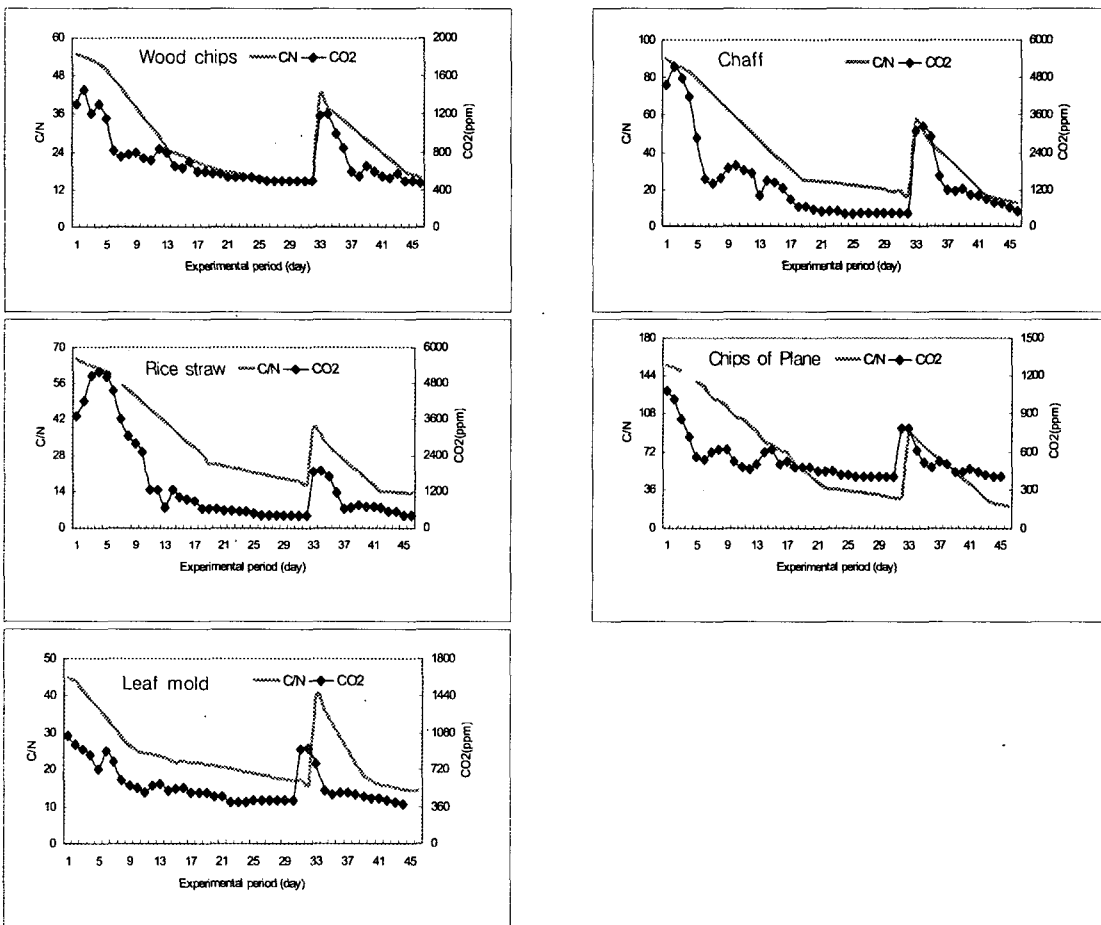


Figure 4. The variation of CO<sub>2</sub> gas and C/N ratio by composting periods.



가 잘 일어난 것으로 파악할 수 있다. 그러나 나무껍질, 대팻밥, 부엽토의 경우 최대 1,000~1,500 ppm, 안정화 단계에서 390~400 ppm으로 측정되었다(Figure 4).

라. 최종산물의 중금속 분석

반응조에 남아있는 최종산물을 채취하여 중금속 항목을 분석한 결과, 수은과 비소는 검출되지 않았으며 타 중금속 항목들도 퇴비로 사용할 수 있는 기준 이하로 검출됨을 알 수 있다(Table 6). 최종산물을 안전하게 사용하기 위해서는 부산물 비료의 부숙정도 및 품질을 검정하는 데 이용되는 미생물의 변동조사가 추후 수행되어야 할 부분이다.

IV. 결론 및 제언

자연발효 원리를 사용하고 있는 환경친화형 화장실의 관리효율을 높이기 위해 통기성매질의 사용사례, 통기성매질별 특성 비교와 분해실험을 수행하였다. 문헌조사와 현장조사를 통해 실제 자연발효형 화장실에 사용되고 있는 매질로는 재, 낙엽, 나무부스러기 등이 있었고, 농촌의 부존자원 중에 습득의 용이성과 취급의 간편성을 설문조사한 결과 볏짚, 낙엽, 왕겨 등으로 나타났다.

자연발효형 화장실에 사용되는 통기성매질의 특성을 실험실 조건하에서 퇴비화 장치를 제작하여 비교한 결과 생분해성(biodegradability)은 온도 변화, 이산화탄소 발생량, C/N비 변화 등을 관찰한 결과, 볏짚>왕겨>대팻밥>나무껍질>부엽토의 순서로 나타남을 알 수 있다(Table 5). 인간 분뇨의 퇴비화과정에서 최종산물의 유해중금속 성분은 기준치 이하로 검출되었다. 왕겨의 경우 통기성매질로서 생분해성은 좋지만 수분 흡수 능력이 불량하고, 나무껍질, 부엽토의 경우에는 통기성매질의 역할과 퇴비화에 필요한 산소 공급 통로를 만들어주는 역할을 기대할 수 있다. 그러나 자체의 분해 능력이 적기 때문에 병원균 사멸에 필요한 높은 온도를 유지시켜 주는 조절제의 역할은 어려울 것으로 판단된다. 따라서 퇴비화 변

소에 사용되는 통기성매질로서 나무껍질, 부엽토 등으로 지지층의 역할을 하도록 하며, 실험에 사용된 통기성매질 중에서는 볏짚을 사용하는 것이 퇴비화 공정에 있어서 적합하다고 사료된다. 또한 효율적인 화장실 관리를 위해서는 지역과 계절에 따라 위에서 언급된 매질들 중에서 구하기 쉬운 매질을 이용하는 것이 바람직하다고 사료된다.

참고문헌

Mori T., A. Narita, T. Amimoto, and M. Chino. 1981. Composting of Municipal Sewage Sludge mixed with Rice Hull. *Soil Sci. Plant Nutr.* 27(4) : 477-486.

Riggle D.. 1996. Technology Improves for Composting Toilet. *Biocycle* : 39-43.

Uschi Eid. 2000. Sustainable water management - A global challenge for the 21st century. *Proceedings of the International Symposium*, 30-31 Oct. 2000, Gernant: 7-10

Wendy Wynia, Anne Sudar and Gray Jones, 1993. Recycling Human Waste: Composting Toilet as a Remedial Action Plan Option for Hamilton Harbour. *Water Poll. Res. J. Canada* 28(2) : 355-368.

김성범, 최훈근, 오길종, 양창욱, 이성기. 음식물쓰레기와 축산폐기물에서 Bulking agent의 재이용에 관한 연구. *폐기물자원화* 9(3) : 127-135.

김정목, 남범식. 2001. 환경미생물학실험. 동화기술 : 174-179.

윤광식, 최수명, 한경수. 2000. 농촌지역 수질보전을 위한 퇴비화 화장실 이용. *한국농촌 계획학회지* 6(1) : 38-43.

이동범. 2000. 자연을 꿈꾸는 뒷간. *들녘* : 135-154.

전경수. 1992. 똥이 자원이다. *통나무* : 122-155.

정재춘, 홍지형. 1994. 퇴비화의 이화학적 지표 및 공정관리, *유기성학회지*. 제2권 2호.

조순재. 2000. 환경친화형 농촌화장실 모델개발 연구 : 2000년도 농촌생활과학 시험연구 보고서 . 농촌생활연구소 : 530-553.

조순재. 2001. 환경친화형 농촌화장실의 성능평가 및 실용화 연구 : 2001년도 농촌생활과학시험연구보고서. 농촌생활연구소 : 355.

최수명, 윤광식. 2002. 외국의 환경친화형 자연발효 퇴비화 화장실의 설치·활용소개. *농어촌과 환경* 76권. 농어촌기반공사 : 132-140

통계청. 2000. 농업총조사(<http://www.nso.go.kr>).

한국클리버스, 1998. 자연발효화장실 기술자료집 : 1-3.

한정대, 1996. 수분조절제의 특성과 확보방안: 가축 분뇨 자원화 조사료 증산방안 심포지엄. 축산기술연구소: 49-61