



## 유기성 폐기물 종합관리기술구축을 위한 물리·화학적 성상 분석

김영구, 배재근, 최훈근\*, 김성미\*, 황의영\*\*

서울산업대학교 환경공학과, 국립환경연구원\*, (주)경호엔지니어링\*\*

## Physical and Chemical Analysis of Organic Wastes for the Establishment of Total Management System

Young-Koo Kim, Chae-Gun Phae, Hoon-Keun Choi\*, Sung-Mi Kim\*, Eui-young Hwang\*\*

Department of Environmental Engineering, Seoul National University of Technology, National Institute of Environmental Research\*, Kyungho Engineering, INC\*\*

### ABSTRACT

Organic waste, which is defined as wastes derived from various biological organisms that contain more than 40% of organic materials, is generated about 100 million tons per year in Korea. These organic wastes are now controlled by several governmental entities, under different rules and regulations, leading to the improper management and inefficient treatment. Therefore, integrated management system is primarily needed for the efficient recycling of organic waste.

In this study, six kinds of organic wastes, which are food waste, sludges (sewage, waste water, night soil), animal excreta, animals and plants residues, and three kinds of recycling by-products (compost, feed, anaerobic digestion by-products) made of organic wastes, were analyzed for their physical and chemical characteristics. On the basis of this result, a possibility for the efficient recycling of organic waste was investigated.

Keywords : Organic waste, integrated management system, animal excreta, animals and plants residues

### 초 록

한 해 발생량이 약 1억톤(2003년도 기준)에 달하는 유기성 폐기물은 '생물에 유래한 동식물성의 폐기물로서 유기물 함량이 40%이상인 폐기물'로 정의된다. 이러한 유기성 폐기물은 종류 및 발생원이 다양하고, 관리주체가 환경부, 농림부, 산림부 등 각 기관으로 분산되어 있기 때문에 정확한 발생량조차 파악이 어려우며, 무엇보다 이처럼 다원화 된 관리주체 하에서 각 폐기물 특성에 따른 적절한 관리 및 처리가 이루어

지지 않고 있는 실정이다.

유기성 폐기물의 자원화체계의 구축을 위해서는 통합관리체계의 수립이 필요하며, 여기서 말하는 통합관리시스템은 다양한 의미를 가지게 된다. 우선적으로 관리측면에서는 여러 기관으로 분산되어 통계·규제되고 있는 유기성폐기물을 일원화하는 통합관리, 둘째는 성상이 유사한 폐기물을 혼합하여 서로 특징을 상호 보완하도록 하는 통합관리, 자원화시스템을 일방적인 하나의 방법이 아닌 다양한 방법을 지자체별로 설치하게 하여 자원화대상물질, 최종생성물 면에서 통합 관리하는 것을 뜻한다.

이러한 통합관리체계의 구축을 위해서는 기본적으로 통계시스템 혹은 그 외에서 관리되고 있는 유기성폐기물의 특성, 발생 및 처리현황을 파악하는 것이 무엇보다 중요하다. 본 연구에서는 6가지 종류(음식물류 폐기물, 하수슬러지, 폐수처리 슬러지, 분뇨처리슬러지, 축산분뇨, 동식물성잔재물)의 유기성 폐기물과 이들 유기성 폐기물을 원료로 하여 생산된 3종류의 자원화 제품(퇴비, 사료, 혐기성소화 잔재물)에 대한 물리·화학적 성상 분석을 실시하였으며, 이 결과를 토대로 하여 각 폐기물 간 특성 및 상관성 분석을 통해 유기성 폐기물의 통합관리 구축에 있어서 요구되는 각 폐기물의 자원화 가능성에 대해 고찰 하였다. 이러한 자료는 향후 유기성 폐기물 통합관리 구축에 있어 중요 자료로 사용될 수 있을 것이다.

핵심용어 : 유기성 폐기물, 재활용 시스템, 축산분뇨, 동식물성잔재물

## 1. 서론

폐기물은 생활환경에서 발생하는 생활폐기물과, 산업현장에서 발생하는 사업장폐기물로 크게 분류되고 있으며, 사업장폐기물은 배출원에 따라 사업장일반폐기물, 사업장 배출계폐기물, 사업장 건설폐기물, 사업장 지정폐기물로 분류되고 있다. 이들은 구성하고 있는 물질의 성상 면에서 유기성폐기물과 무기성 폐기물로 구분이 가능하며, 유·무기성을 구분하는 기준은 폐기물을 건조기준으로 휘발성유기화합물이 40%이상을 유기성폐기물로 규정하고 있다. 또한 유기물 함량이 40%이상이라는 전제에서 플라스틱 등의 고분자 유기물이 포함될 수 있기 때문에 생물에 유래된 동식물성 폐기물을 유기성폐기물로서 정의하고 있다. 이를 정리하여 유기성폐기물을 정의하면 “생물에 유래한 동식물성의 폐기물로서 유기물의 함량이 40%이상인 폐기물”로 가능하다.

이러한 유기성 폐기물은 종류 및 발생원이 다양하고, 관리주체가 환경부, 농림부, 산림부 등 각 기관으로 분산되어 있기 때문에 정확한 발생량조차 파악이 어려우며, 무엇보다 이처럼 다원화 된 관리주체 하에서 각 폐기물 특성에 따른 적절한 관리

및 처리가 이루어지지 않고 있는 실정이다.

효율적인 유기성폐기물의 처리 및 자원화를 위해서는 강제적인 사회시스템보다는 모든 기술과 여건이 조화된 새로운 사회시스템의 개발이 필요하며, 환경부하를 경감시키기 위해서는 지역사회 구성원이 서로 협력하여 새로운 사회시스템 구축 및 궁극적으로 자원과 에너지를 절약하는 순환사회의 구축이 필요하다. 폐기물의 매립 및 소각은 자원의 재활용을 불가능하게 하는 시스템으로서 유기성폐기물의 개별 특성을 파악한 후에 자원화 하는 종합관리 체계의 구축이 시급한 상태이다.

이러한 체계의 구축을 위해서는 상호 유기적 연계처리 및 자원화 시스템 구축이 필요하나, 현재 유기성폐기물의 관리업무가 환경부(음식물류 폐기물, 하수슬러지 등), 농림부(사료, 퇴비 등), 해양수산부(해양배출 대상 폐기물)등 여러 부처에 분산되어 있어 단편적으로 관리되고 있는 실정이다. 원활한 정책추진을 위해서는 유기성폐기물의 발생량 및 특성파악, 자원화제품의 품질과 수요예측, 재활용 및 처리방법의 다양화 도모 등 국가적 차원에서의 종합관리기반을 구축할 필요성이 있다. 이를 위해서 먼저 각종 유기성폐기물의 물리·화학적 특성에 대한 사전 조사 및 실질적인 성상분석을

통해 이들 폐기물의 특성에 따른 처리 및 자원화방법을 검토하는 조사가 이루어져야 할 것이다.

따라서 본 연구는 6가지 종류(음식물류 폐기물, 하수슬러지, 폐수처리 슬러지, 분뇨처리슬러지, 축산분뇨, 동식물성잔재물)의 유기성 폐기물에 대한 각종 물리 화학적 성상 분석을 실시하였다.

지금까지 유기성 폐기물의 성상 및 특성을 이해하지 못한 상태에서 1개의 지자체 내의 1개 시설 내에서 처리 및 자원화를 시도했으나, 본 연구에서 얻어지는 결과를 이용하여 지자체간의 상호협력에 의하여 다양한 처리시설을 설치하고 유기성폐기물의 부가가치정도 및 종류에 따라 혼합 혹은 연계 처리 할 경우에 처리에 있어서 시너지효과를 극대화시킬 수 있을 것이다. 즉 유기성 폐기물의 관리 시 정부와 지자체간의 연계, 각 지자체간의 연계, 각 기술들 간의 연계 시 필요한 실질적인 데이터로 활용될 것으로 판단된다.

또한 자원화과정에서 최종적으로 생산되는 생성물의 원활한 수급관계는 자원화에 있어 매우 중요한 기능을 하며, 이를 위해서는 생성된 물질의 특성을 이해해야 한다. 따라서 본 연구에서는 유기성 폐기물과 함께 각종 유기성 폐기물을 원료로 하여 생산된 3종류의 자원화제품(퇴비, 사료, 혐기성소화 잔재물)에 대한 특성을 분석하였다.

자원화에 있어서 중요한 사항은 유통단계에서 공급처와 수요처간의 충분한 정보가 공유되어야 한다는 점이다. 제품의 질, 사용방법, 각종 영향에 대하여 정보를 제공하는 것이 필요하다. 이러한 정보를 제공하는 수단으로 본 연구에서 얻어진 결과를 활용할 수 있으며, 정보제공에 의한 좀더 활발한 정보의 공유와 공개를 통해 종합적이고 지속적인 관리체계 구축에 기여할 것이다.

## 2. 실험재료 및 방법

### 2.1 유기성 폐기물 및 자원화 제품의 종류

#### 2.1.1 유기성 폐기물

본 연구에서는 총 6가지의 유기성 폐기물(음식물류 폐기물, 각종 유기성 슬러지류(하수슬러지, 폐

수처리슬러지, 분뇨처리슬러지), 축산분뇨, 동·식물성 잔재물)을 조사대상으로 선정하였다. 이 가운데 음식물류 폐기물과 하수슬러지는 계절에 따른 성상 변화를 고려하여 각각 4계절과 3계절에 걸쳐 시료채취 및 성상 분석을 실시하였으며, 이외의 폐수처리슬러지, 분뇨처리슬러지, 동식물성 잔재물은 계절 변화에 따른 요인 보다는 발생원 및 처리 시설의 특성에 따른 성상 변화가 예상되었기 때문에 여름철 한 번에 걸친 성상 분석을 실시하였다.

음식물류 폐기물은 총 5개 배출원(단독, 공동, 군부대, 감량화의무사업장, 일반소규모음식점)에서 3개 지점을 임의로 선정하여 시료채취 및 분석을 실시하였으며, 하수슬러지는 도시규모와 사업장규모별로 구분하여 15개 시설을 조사대상으로 선정하였다. 분뇨처리슬러지는 5개 위생처리장을 대상으로 하여 시료 채취 및 성상 분석을 실시하였다. 폐수처리슬러지와 동·식물성잔재물은 식품 및 종이, 담배 제조업 등 발생하는 슬러지가 유기성슬러지로 분류되는 업체를 선정하여 이들 업체에서 공정 중 발생하는 각종 동식물성 잔재물과 최종 탈수 후 배출되는 슬러지에 대한 시료채취 및 성상분석이 이루어졌다. 마지막으로 축산분뇨는 축종에 따라 축우, 축계, 축돈으로 분류하여 시료채취 및 성상 분석을 실시하였다.

#### 2.1.2 자원화 제품

본 연구에서 분석된 자원화 제품은 퇴비와 사료 그리고 혐기성소화 잔재물(가스, 액비)로서 모두 유기성 폐기물을 주원료로 하여 생산된 제품들이다.

이들 자원화 제품들 가운데 퇴비는 계절적 요인 보다는 시설 공정 및 사용원료의 특성에 따른 성상 변화를 고려하여 계절적 요인은 고려하지 않았다. 하지만, 사료와 혐기성소화는 외부 온도에 따라 E. Coli O157, Salmonella spp., 등의 유해 미생물의 증식 우려가 있으며, 무엇보다 혐기성소화의 경우는 계절에 따라 공정 효율에 편차가 심한 것으로 알려지기 때문에 계절적 요인을 고려하여 4계절에 걸친 조사가 이루어졌다. 조사대상으로 선정된 퇴비화 시설은 주원료로서 음식물류 폐기물과 축산분뇨가 이용되었으며, 사료화 시설은 모두 음식물류 폐

기물이 주원료로 이용되었다. 또한, 혐기성소화 잔재물의 성상분석 역시, 음식물류 폐기물이 주원료로 이용되는 시설을 조사대상으로 선정하였다.

## 2.2 분석 항목

유기성 폐기물과 자원화 제품의 성상 분석은 크게 수분, 가연분, 회분의 삼성분을 포함하여 원소 분석 등의 일반 성상 분석과 중금속, 이물질 함유

율 등의 유해 성분 분석으로 나누어 실시하였다.

축산분뇨를 제외한 모든 유기성 폐기물은 삼성분(수분, 회분, 가연분), 이물질 함유율, 원소분석, 발열량, pH, NaCl, C/N, OM/N, 인함량, sCOD, TOC(고상시료) 등의 항목이 분석 되었다. 자원화 제품은 시료의 일반적인 성상 분석에 유해성 유무를 판단할 수 있는 유해미생물(대장균군수, Salmonella spp. 등)의 분석이 추가로 이루어졌다.

[Table1] Analysis Parameters of Organic Wastes and Recycling By-Product

Samples		Analytical Times	Analytical Characteristics
Organic wastes	Food waste	4	Content of Water, Organic, Ash, Content of Adulteration, Elements(C,H,O,N,S), Caloric value, pH, NaCl, C/N, OM/N, Potassium, sCOD, TOC
	Sewage sludge	3	Content of Water, Organic, Ash, Content of Adulteration, Elements(C,H,O,N,S), Caloric value, pH, NaCl, C/N, OM/N, Potassium, sCOD, TOC
	Wastewater sludge	1	Content of Water, Organic, Ash, Content of Adulteration, Elements(C,H,O,N,S), Caloric value, pH, NaCl, C/N, OM/N, Potassium, sCOD, TOC
	Night soil sludge	1	Content of Water, Organic, Ash, Content of Adulteration, Elements(C,H,O,N,S), Caloric value, pH, NaCl, C/N, OM/N, Potassium, sCOD, TOC
	Animal manure	1	Content of Water, Organic, Ash, Content of Adulteration, Elements(C,H,O,N,S), Caloric value, pH, NaCl, C/N, OM/N, Potassium, sCOD, TOC
	Animals and plants residue	1	Content of Water, Organic, Ash, Content of Adulteration, Elements(C,H,O,N,S), Caloric value, pH, NaCl, C/N, OM/N, Potassium, sCOD, TOC
By Products	Compost	1	Content of Water, Organic, Ash, Elements(C,H,O,N,S), Caloric value, pH NaCl,C/N,OM/N,Potassium, Heavy metal, Content of Adulteration,, Colon bacillus, Salmonella spp
	Feed	4	Crude protein, Crude fat, Crude fiber, Crude ash, Content of water, Content of Adulteration, NaCl, Heavy metal, Total bacteria, Colon bacillus,, Anaerobic bacteria,, E. Coli O157, Salmonella spp., Listeria monocytogenes
	Anaerobic digestion by-products	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Liquefied fertilizer : Content of Water, Organic, Ash, Elements (C,H,O,N,S), Caloric value, pH, NaCl, C/N, OM/N, Potassium, Heavy metal, sCOD, TOC, Colon bacillus,, Salmonella spp.</li> <li>■ Biogas : Content of water, Production and Rate, Composition and Ratio(%), Temperature, Caloric value</li> </ul>

### 3. 분석 결과

#### 3.1 유기성 폐기물 분석 결과

3.1.1 삼성분(수분, 가연분, 회분) 분석결과  
 유기성 폐기물의 함수율 분석결과를 보면, 동·식물성 잔재물의 몇몇 시료를 제외하고는 거의 모든 시료가 60.0~90.0%의 값을 나타냈으며, 평균 약 80.0% 범위를 보이는 것으로 조사되었다 [Fig.1].

미생물의 활성화에 큰 영향을 미치는 함수율은 퇴비화에 있어 중요한 인자로 작용하며, 통상적으로 함수율이 10.0~15.0% 정도면 미생물의 활성화 일어나지만, 유기물 분해를 위해서 요구되는 함수율은 최소 40.0% 이상이라고 알려진다.<sup>1)</sup> 일부 함수율이 낮은 유기성 폐기물의 경우는 퇴비화를 통한 자원화에 있어 전처리 단계에서 별도의 수분 조절이 요구된다.

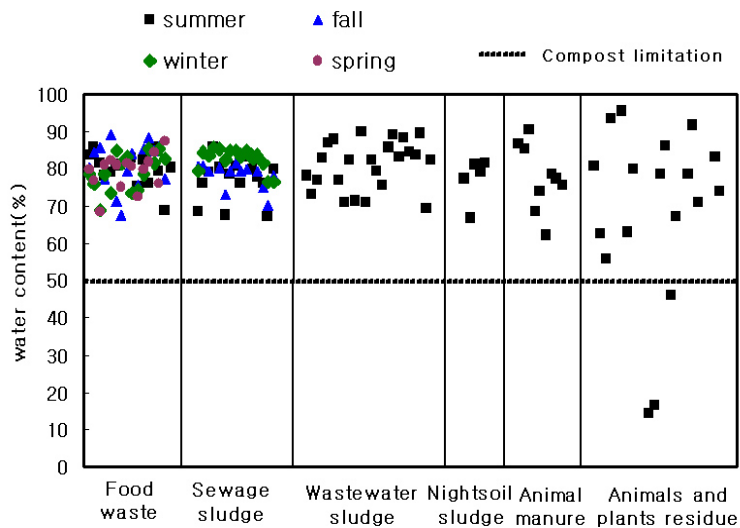
이와는 반대 개념으로서 부산물 비료에 대해 비료공정규격에서 정하는 함수율 최대치가 50.0%인 점을 감안한다면, 함수율이 80.0% 이상인 유기성 폐기물은 퇴비화에 있어서 다량의 수분 조절제가 공급되어야 하는 경제적인 문제를 야기하므로

퇴비원료로 사용하는데 있어 장기간의 발효 및 부숙 기간을 거쳐야 할 것으로 사료된다.

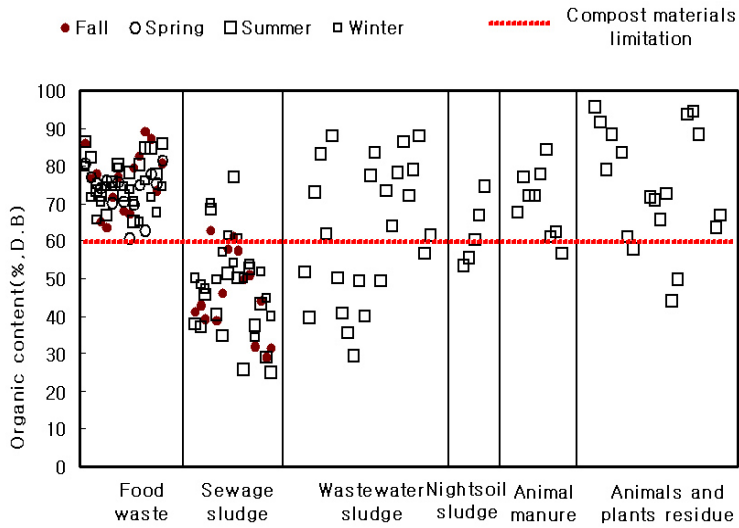
퇴비원료로 이용가능 한 폐기물의 건량기준 유기물 함량은 최소 60% 이상으로 규제되고 있으며, [Fig. 1]에서 보는바와 같이 하·폐수처리 슬러지를 제외한 대부분의 유기성 폐기물은 이같은 규제치를 만족하는 것으로 조사되었다[Fig.2]. 하·폐수처리슬러지의 경우, 상당수가 비료원료 기준에서 정하는 최소 유기물 함량 기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났으므로 슬러지류의 퇴비화에 있어서는 사전에 추가 탄소원의 공급이 필요할 것으로 판단된다.

#### 3.1.2 pH 및 NaCl 분석결과

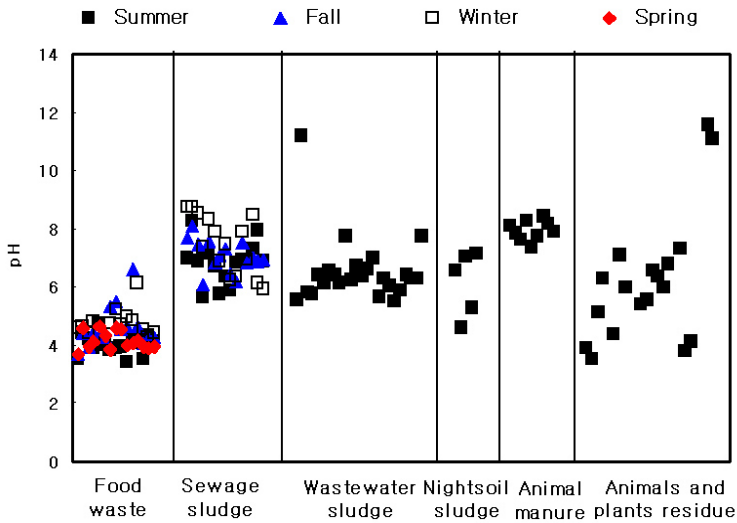
퇴비화에 있어서 미생물 활성화의 최적 pH는 5.5~8.0으로 이 범위 이외의 pH영역에서는 미생물활성이 현저히 둔화된다고 알려져 있다.<sup>2)</sup> 또한 NaCl은 유기성 폐기물의 소각 시 다이옥신 발생의 주원인이 되는 물질로서 반드시 규제되어야 하며, 음식물류 폐기물과 동·식물성 잔재물등의 사료화에 있어 높은 염분농도는 사료화 및 퇴비화를 통한 자원화에 있어 가축 염분 중독과 토양의 염류집적 등의 문제를 야기 시킬 가능성이 있다.<sup>3)</sup>



[Fig.1] Water content of the organic wastes.



[Fig.2] Organic matter content of organic wastes.

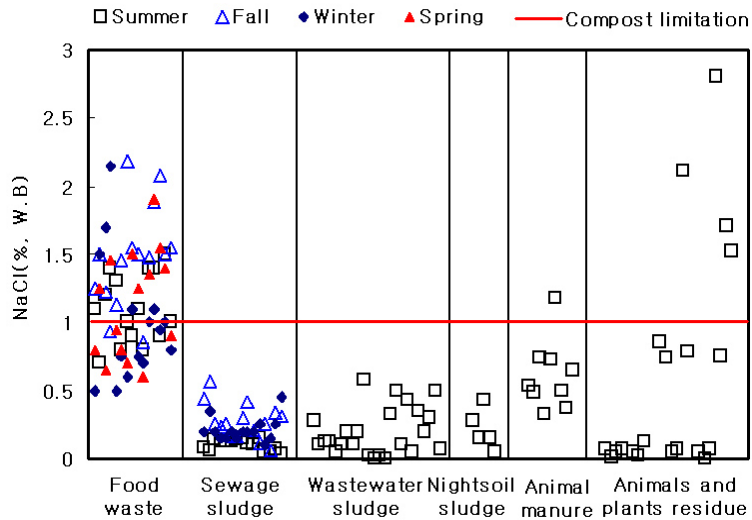


[Fig.3] pH of the organic wastes.

[Fig.3]의 pH 분석결과에서 대부분의 유기성 폐기물의 pH 범위는 중성부근인 6.0~8.0으로 나타났으며, 음식물류 폐기물은 높은 함수율과 유기물 함량에 기인하여 pH 4.0~5.0 범위로 나타났다. 또한 축산분뇨는 높은 암모니아 성분으로 인해 pH는 약 8.0 정도의 약알칼리성으로 조사되었다.

[Fig. 4]에 나타낸 유기성 폐기물의 염분분석

결과를 보면, 음식물류 폐기물의 염분농도는 기타 유기성폐기물에 비해 월등히 높은 것을 알 수 있다. 여름철 음식물류 폐기물의 평균 염분농도는 약 1.10%로 비료공정규격 기준치(1.0%)를 모두 초과하였다. 현재 비료관리법 및 사료관리법에서는 이처럼 높은 염분농도를 함유한 원료에 있어 별도의 규제를 가하고 있지는 않지만, 세정과 탈수 과



[Fig.4] NaCl of the organic wastes.

정을 거치지 않고 곧바로 자원화 공정을 거치는 원료의 경우는 최종 생성물내의 염분농도가 비료공정규격이 정한 규제치를 초과하는 것은 자명한 일이라고 예상된다.

이와는 달리 음식물류 폐기물을 제외한 대부분의 유기성폐기물, 즉 각종 슬러지류의 염분농도는 1.0% 이하로 나타난 바, 퇴비원료로 사용하는데 있어서 염분으로 인한 큰 문제는 없을 것으로 보인다. 동·식물성 잔재물 가운데 1.0% 이상의 염분농도를 나타낸 잔재물은 수산물가공업과 농수산물도매시장에서 발생하는 잔재물이었으며, 이는 현장에서 수산물의 부패를 막는 목적으로 가하는 다량의 소금이 주된 원인인 것으로 조사되었다.

음식물류 폐기물의 퇴비화를 통한 자원화는 염분농도 저감을 위한 철저한 전처리가 요구되며, 필요에 따라 기타 폐기물(하수슬러지, 축산 분뇨 등)과의 혼합은 폐기물 자체의 높은 염분 농도를 크게 저감 시킬 것으로 판단된다.

### 3.1.3 이물질 함유율 분석결과

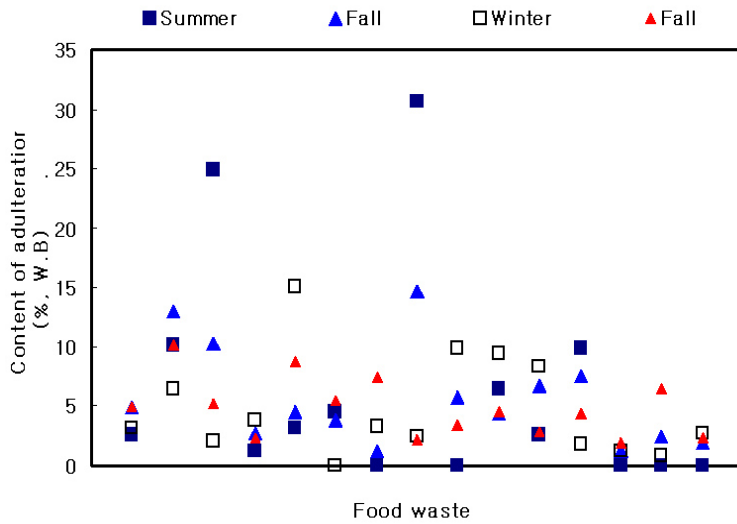
음식물류 폐기물의 이물질의 함유율은 0.0~30.63%의 범위로 나타났다(Fig. 5). 음식물류폐기물 내의 이물질은 종이류에서 금속류까지

그 종류가 다양하였으며, 주된 성상은 비닐류와 동물의 뼈로 조사되었다. 전용용기를 통해 음식물류 폐기물을 배출하는 공동주택 및 감량화의무사업장에서의 이물질 함유율은 기타 배출원(단독주택, 소규모 음식점 등)에 비해 비교적 낮은 것으로 조사되었으며, 따라서 이물질 함량은 배출·수거형태에 따른 영향이 무엇보다 크게 작용하는 것을 알 수 있다.

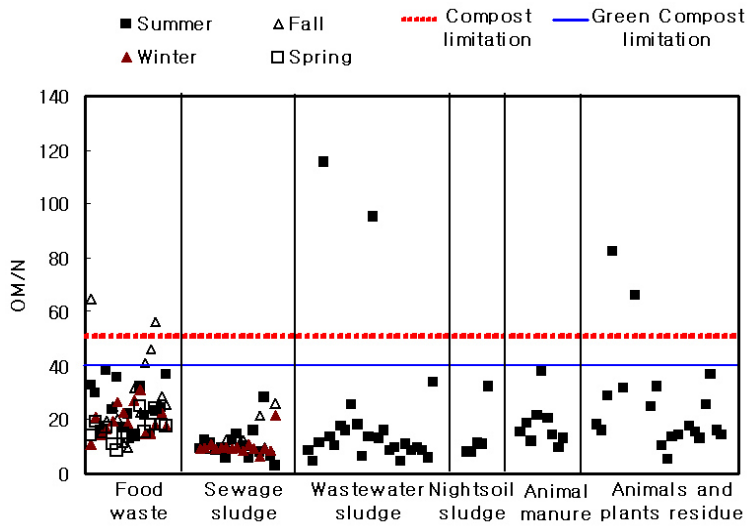
음식물류 폐기물 내 혼입되는 이물질의 양을 줄이기 위해서는 정부의 자원화 정책 차원에서 음식물류폐기물 배출 시 철저한 이물질 선별에 대한 적극적인 홍보와 제도 마련 등이 해결책이라 보이며, 이를 통해 우리나라 전체 국민이 단순히 음식물류 폐기물을 쓰레기 개념이 아닌 하나의 자원으로 인식할 수 있는 개념의 전환이 빠른 시일 내에 이뤄져야 할 것이다.

### 3.1.4 OM/N (C/N) 비 분석결과

OM/N은 유기물 대 질소의 비를 나타낸 것으로 퇴비화 반응에 있어서 미생물의 에너지원(OM)과 세포합성에 이용되는 단백질질원(N)의 적절한 비율은 퇴비화 공정의 효율과 밀접한 관련이 있으며, 통상적으로 OM/N 및 C/N 비는 20~30이 최적의



[Fig.5] The content of adulteration in the foodwaste



[Fig.6] OM/N Ratio of the organic waste

범위라고 알려져 있다.<sup>4)</sup>

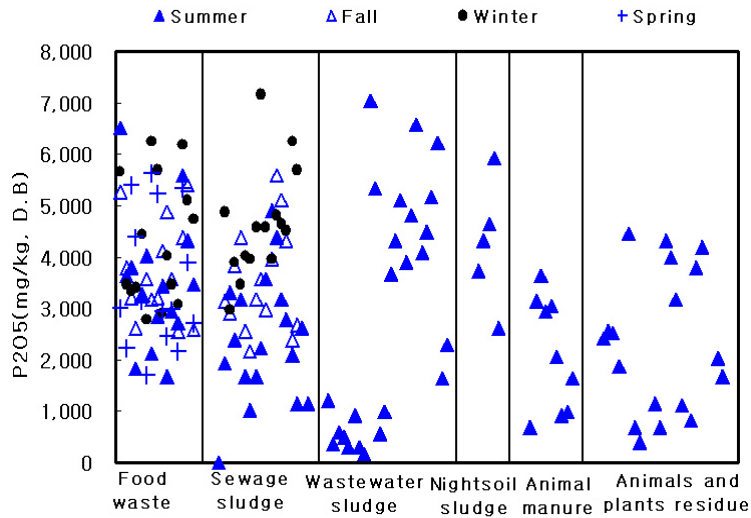
음식물류폐기물의 OM/N 비 분석결과, 동·식물성 잔재물을 제외한 모든 유기성폐기물의 OM/N 및 C/N 비는 20.0이하로 조사되었다(Fig. 6). 무엇보다 하·폐수처리 슬러지는 탄소원 즉, 유기물의 부족으로 인하여 단독 자원화(퇴비화, 혐기성 소화)를 통한 처리는 힘들 것으로 사료되며, 기타

부원료(탄소원)의 첨가가 필요할 것으로 판단된다.

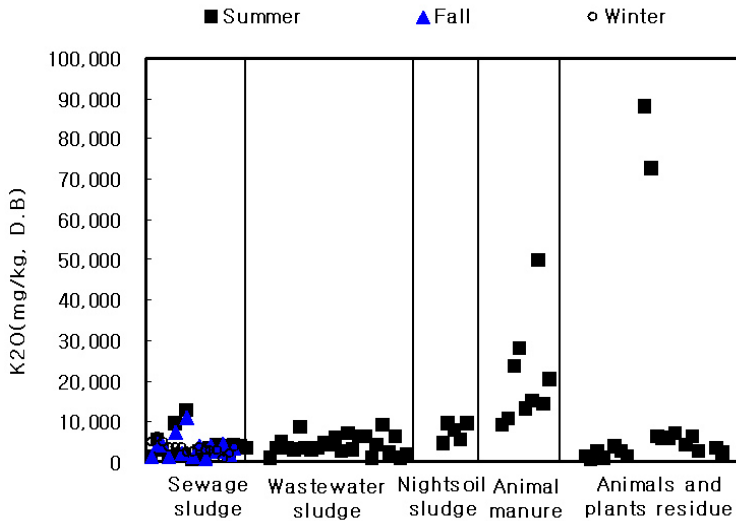
### 3.1.5 비료성분 분석결과

유기성폐기물의 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>에 대한 분석결과를 [Fig. 7]에 나타내었다. 분석결과를 보면, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 함량은 폐기물 종류와 상관없이 편차가 상당히 큰 것으로 나타났으며, 평균은 대략 2,000~7,000mg/kg





[Fig.7] P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(mg/kg) of the organic wastes.



[Fig.8] K<sub>2</sub>O(mg/kg) of the organic wastes.

의 범위로 조사되었다. 유기성폐기물 중 인산의 함량이 높게 나타나는 폐기물은 인산비료 자원으로서의 활용 가치가 충분히 있을 것으로 판단된다.

[Fig. 8]에 유기성 폐기물의 K<sub>2</sub>O함량을 나타내었다. 대부분의 분석 시료는 10,000mg/kg이하로 낮게 분석 되었지만, 동·식물성 잔재물 중 담배제조업의 잔재물은 약 72,000mg/kg과

87,000mg/kg으로 분석되어 이들 잔재물의 K<sub>2</sub>O의 함량은 모든 분석 시료 가운데 가장 높은 것으로 나타났다.

### 3.1.6 중금속 함량 분석결과

유기성폐기물의 중금속 함량은 각종 처리 및 자원화에 있어서 매우 민감하게 고려해야 할 부분으

로 현행 비료관리법 및 사료관리법에서는 각종 규제를 통해 중금속이 다량 함유된 폐기물에 한하여 비료 및 사료의 원료로서의 이용을 금지하고 있다.<sup>5)</sup>

유기성 폐기물의 중금속 분석결과, 하·폐수처리 슬러지를 제외한 대부분의 유기성 폐기물은 비료 관리법에 공시된 비료원료 기준 규제치를 대부분이 만족하는 것으로 조사되었다. 하수슬러지 내 중금속 함량은 산업단지와 대도시 지역에서 배출되는 슬러지의 경우, 기타 배출원(농촌, 중·소도시)에 비해 월등히 높은 중금속 함량을 보이고 있으며, 계절에 따른 함량 변화 여부는 관찰 되지 않았다. 음식물류 폐기물 내 함유된 중금속은 자원화에 있어 그 위해성 여부를 전혀 찾을 수 없을 만큼 낮은 농도를 보여 각종 슬러지류의 분석 결과에 비

해 매우 대조적인 경향을 보였다(Table 2).

### 3.1.7 종합 분석 결과

유기성폐기물의 종류별 성상 분석 결과를 [Table 3]에 나타내었다.

유기성폐기물의 함유율은 동·식물성 잔재물이 69.04%로 가장 낮았고 이외의 폐기물은 70.0~80.0%의 범위로 나타났으며, 건량 기준 유기물 함량은 대부분의 폐기물이 70.0~80.0%의 범위로 조사되었지만, 하수슬러지는 퇴비화를 통한 자원화와 관련하여 비료원료기준인 60.0%에 못 미치는 50.0% 이하로 나타났다.

음식물류폐기물과 동·식물성 잔재물을 제외한 모든 유기성폐기물의 OM/N 및 C/N비는 20.0이하로 조사되었으며, 이는 퇴비화에 있어서 질소에 비

[Table2] A Result of Analysis of Heavy Metal Content in Organic Wastes

구 분	Cu	Pb	Cr	Cd	Hg	As	Zn	Ni
Food waste**	16.45	1.58	4.65	0.37	0.04	2.06	37.68	1.67
Sewage sludge*	944.5	161.1	491.9	6.66	0.66	5.52	1,342.3	110.2
Wastewater sludge	209.1	107.8	1,491.3	3.22	0.20	13.01	599.5	150.2
Nightsoil sludge	640.2	100.0	421.1	7.20	0.08	8.23	1,361.5	78.60
Animal manure	513.2	4.10	25.50	0.80	0.10	0.30	196.2	5.70
Animals & plants residue	392.9	105.8	45.02	1.74	0.19	1.58	244.7	10.09

\*\* : average of 4 season , \* : average of 3 season

[Table3] Characteristics of the Organic Wastes

Organic wastes	Water content	Organic content		Ash	OM/N	C/N	NaCl (% , W.B.)	pH (1:2.5)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%.) D.B.	Heating value (kcal/kg, D.B.)
		W.B.	D.B.							
Food waste**	79.92	14.89	78.16	5.16	20.25	13.71	1.10	4.35	0.39	4,655
Sewage sludge*	79.49	9.20	45.1	11.20	10.20	10.96	0.20	7.10	1.74	2,648
Wastewater sludge	80.80	11.34	59.05	7.86	16.13	15.42	0.20	6.52	2.09	3,274
Nightsoil sludge	77.0	14.02	62.0	8.98	14.07	9.07	0.21	6.11	0.42	4,170
Animal manure	77.50	15.90	69.91	6.57	17.96	12.23	0.61	7.92	0.21	3,818
Animals and plants residue	69.04	21.53	79.16	8.06	31.76	16.81	0.55	6.15	0.23	3,966

\*\* : average of 4 season , \* : average of 3 season, W.B. : Wet base , D.B. : Dry base

해 낮은 유기물함량으로 인해 탄소원의 추가 공급이 반드시 필요하다고 사료된다.

음식물류 폐기물의 염분농도는 0.90~2.10%의 범위로 평균 1.10% 나타났으며, 이외의 폐기물은 퇴비화 및 사료화 등의 자원화에 있어 문제를 야기할 만큼의 수치는 아닌 것으로 나타났다.

유기성폐기물의 발열량에 대한 분석결과 음식물류 폐기물은 약 4,000kcal/kg, 축산 분뇨는 3,000~4,000kcal/kg, 동·식물성 잔재물은 약 3,000~4,000kcal/kg, 폐수처리슬러지는 2,000~4,000kcal/kg, 분뇨슬러지는 약 4,000kcal/kg, 하수슬러지는 약 2,000 kcal/kg 정도의 값을 보여 하수슬러지의 발열량은 낮은 유기물 함량과 비례하여 가장 낮은 것으로 분석되었다.

### 3.2 자원화 제품 분석 결과

#### 3.2.1 수분 및 가연분 분석결과

18개의 퇴비의 수분 함량 분석 결과, 과반수에 못미치는 8개 시료가 비료공정규격 수분함량 허용치(50%이하)를 초과한 것으로 조사되었다. 이는 퇴비의 부숙 및 후부숙 기간과 밀접한 관련이 있으며, 대다수 영세한 민간 퇴비화 시설에서는 경제적 문제를 이유로 들어 협소한 부지 면적에 비해 일일

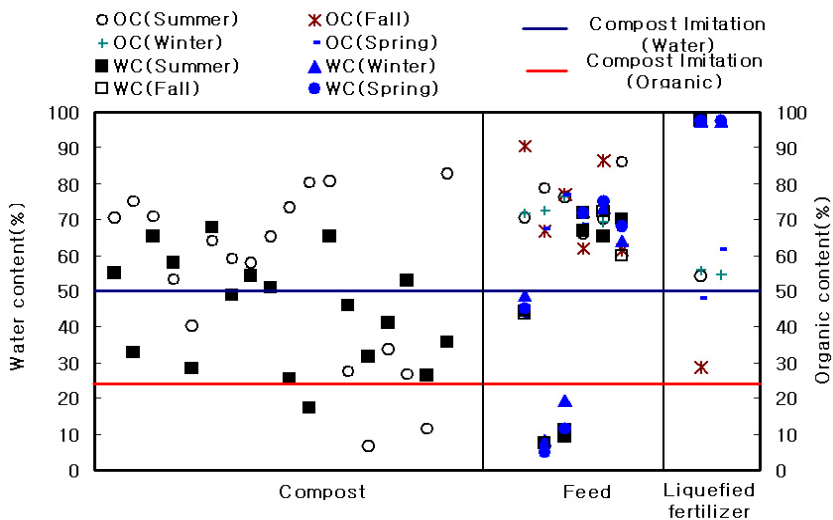
처리량 이상의 원료를 처리하고 있기 때문에 이같은 결과를 보였을 것으로 판단된다.<sup>6)</sup>

한편 사료의 함수율은 건식과 습식에 따라 50.0~60.0%정도 차이를 보였으며, 혐기성소화 잔재물(액비)의 함수율은 고형물 함량이 3.0%정도인 97.0%로 분석되었다(Fig. 9).

#### 3.2.2 NaCl 분석결과

비료공정규격에 공시된 부산물비료의 NaCl 함량 허용치는 1.0%로서 분석된 퇴비시료 가운데 혼합 퇴비 2개와 음식물류 폐기물 퇴비 3개의 시료가 기준을 초과한 것으로 나타났다. 이같은 NaCl함량이 높은 퇴비의 토양 살포는 염류집적에 의한 토질 저하와 토양작물의 피해를 야기 시키기 때문에, 초기 자원화 단계에서 세정 및 탈수를 통한 확실한 NaCl 농도의 제거가 요구된다.

사료의 NaCl 농도는 약 1.3%의 농도를 보였는데, 일반적으로 음식물류폐기물을 원료로 한 사료는 기타 단미사료와 혼합되어 가축의 먹이로 사용된다. 이로 인해 상당량의 NaCl 농도가 저감될 것으로 예상되지만, 가축의 염류중독으로 인한 문제를 미연에 방지하기 위해선 기타 밀기울이나 보릿겨 또는 쌀겨 등의 단미사료와의 혼합을 산정이 매우 중요하게 고려되어야 할 것이다.<sup>7)</sup>

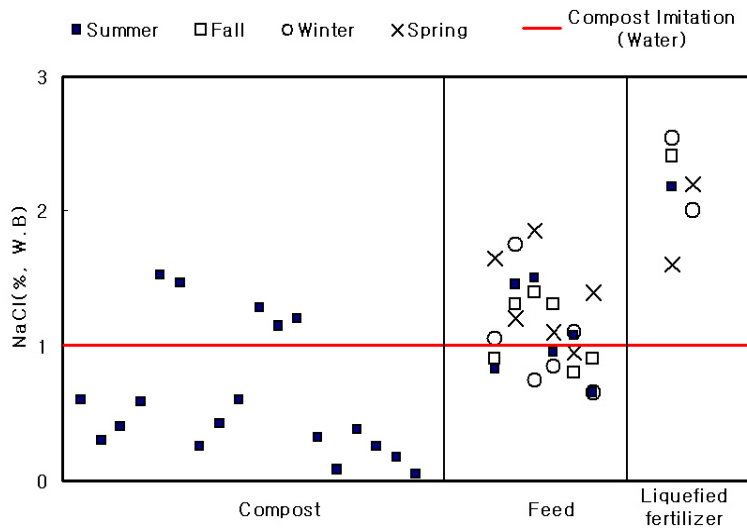


[Fig.9] Water and organic matter content of recycling by-product.

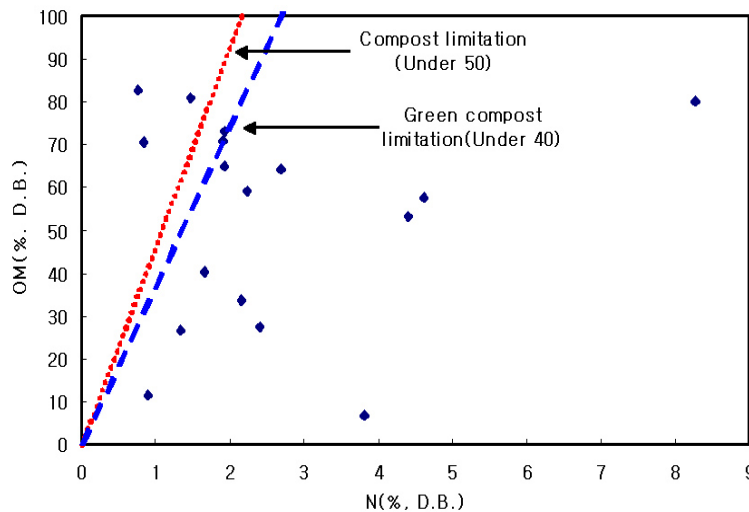
3.2.3 유기물대 질소 비(OM/N) 분석결과

18개 부산물 비료에 대한 OM/N 분석 결과를 Figure 7에 나타내었다. 비료공정규격에 공시된 OM/N 규제치는 50.0이하이며, 분석된 전체 18개 시료 중 3개 시료가 퇴비기준을 초과하였다(Fig. 11). 높은 유기물을 함유한 퇴비가 토양에 살포 될 경우, 토양 내에서 유기물 분해에 따른 재 발열 및 각종 유기산의 생성으로 인해 작물에 적지 않은 피

해를 주며, 유기물에 비해 상대적으로 질소 성분이 낮기 때문에 작물의 단백질 합성원인 질소 부족현상이 나타나며, 결과적으로 토양 작물의 생육이 현저하게 둔화되는 문제가 야기된다.<sup>8)</sup> 따라서 유기물함량이 높은 불량 퇴비로 인한 작물 피해를 방지하기 위해서는 적정기간의 부숙(20~30일)과 후부숙(30~150)을 거쳐 제품화 되는 부산물 비료의 유기물 함량을 감소시켜야 할 필요가 있다.



[Fig.10] NaCl(%) of recycling by-product.



[Fig.11] OM/N of the composts.

3.2.4 비료성분(P2O5) 분석결과

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 분석 결과, 부산물 비료는 대부분 2,000mg/kg이하의 값을 보였으며, 음식물류 폐기물 퇴비의 경우만 3,785~4,400mg/kg의 값을 나타내었다. 이는 음식물 내에 높은 인산성분 함유에 따른 결과라고 사료된다. 혐기성소화 잔재물(액비)의 경우, 대략 2,000~12,000mg/kg의 범위를 보여, 일부 시료에 있어서는 퇴비보다 더 높은 인산 성분을 함유한 것으로 조사되었다. 이처럼 인산 함량이 높은 액비는 자연에 방치할 경우 수질오염, 악취발생 및 위생악화 등 심각한 환경문제를 일으킬 수가 있고, 작물 재배에 있어서도 과다 사용 시 토양오염 및 작물피해가 우려되므로 작물별 적정 사용량 산출이 요구된다.

3.2.5 중금속 분석결과

중금속 성분은 대부분 양이온으로 토양입자에 흡착되어 이용성이 적고 침투수에 의하여 용탈되기가 어렵다. 따라서 유해성분이 다량 함유된 비료는 집중적, 지속적으로 단속하여야 하며 비료관리법에 명시된 대로 규정에 따라 사용가능성이 검토되지 않았거나 사용이 불가능한 유기성 폐기물(도시, 공단 지역 하수슬러지 및 일부 제조업 폐수처리슬러지)은 퇴비원료로 사용을 철저히 금지시켜 중금속으로 인한 농경지의 오염을 방지하여야 한다.

자원화제품의 중금속에 대한 분석결과를 [Table 4]에 나타내었다. Zn은 지렁이분변토 시

료 가운데 한 개 시료를 제외하고 대부분의 시료가 비료공정규격에서 공시한 기준치를 만족하였다. 하지만 그린퇴비기준을 적용시키면 Cu, Pb, Ni에서 몇몇 시료가 기준을 초과하는 것으로 나타났으며, 사료에 있어서 습식사료 제조시설 2곳에서 Cd 함량이 '사료 내 유해물질 허용치'를 초과하는 것으로 조사되었다.

3.2.5 종합 분석결과

[Table 5]에 자원화 제품의 종류별 정상 분석 결과를 나타내었다.

퇴비 가운데 음식물퇴비를 제외한 나머지 3종류 퇴비의 함유율은 50.0% 이상으로 조사되어 비료관리법에서 규정하는 수분함량 최대 허용치를 상회하는 것으로 나타났다.

자원화 제품의 NaCl 분석결과, 퇴비 가운데 혼합 퇴비와 음식물퇴비는 비료관리법의 염분 최대 허용치인 1.0%를 초과하는 것으로 조사되었으며, 따라서 토양에 장기간 살포시 염류집적으로 인한 토질 약화와 농작물의 생육 및 발육에 악영향을 미칠 것으로 예상된다.

자원화 제품 중 음식물류 폐기물 사료는 일반 배합사료에 비해 조지방과 조단백의 함량이 높아 단백질원과 에너지원 사료로서 이용가능성이 크며, 기타 단미사료와의 혼합을 통해 부족한 기타 영양 성분(미네랄, 아미노산 등)을 충분히 보충할 수 있을 것이다.

[Table4] A Result of Analysis of Heavy Metal Contained in Recycling By-products

Parameters		Cu	Pb	Cr	Cd	Hg	As	Zn	Ni
Compost	Animal manure(swine)	104.5	73.00	9.67	N.D.	0.02	6.92	271.2	8.93
	Mixture	95.47	21.75	8.70	0.80	0.03	12.44	245.0	6.63
	Animal manure(Fowl)	69.97	1.50	N.D.	0.60	0.06	7.50	255.8	6.37
	Food waste	21.77	20.70	57.80	N.D.	0.05	2.85	56.60	6.55
	Casting	119.07	85.65	27.70	0.80	0.06	13.43	401.87	0.95
Feed	Dryness	13.28	1.35	3.44	0.36	0.02	1.73	63.39	1.19
	Wetness	40.40	9.93	19.63	1.14	0.02	1.06	107.35	3.36
Liquefied fertilizer		55.85	15.01	10.93	1.25	0.03	N.D.	146.4	N.D.

[Table5] Characteristics of the Recycling By-product

Parameters		Water content	Organic content		Ash	OM/N	C/N	NaCl (% W.B.)	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (% D.B.)	K <sub>2</sub> O (% D.B.)
			W.B.	D.B.							
Compost	Animal manure(swine)	50.97	35.80	72.38	43.83	46.07	26.73	0.43	7.43	0.33	1.57
	Mixture	51.17	24.07	52.51	24.77	20.09	16.92	1.19	8.55	0.08	2.63
	Animal manure(Fowl)	51.33	29.53	60.64	19.13	24.21	16.13	0.43	8.22	0.07	3.82
	Food waste	35.87	49.77	78.07	14.37	34.32	18.12	1.21	6.43	0.42	0.53
	Casting	39.53	13.03	22.52	47.43	9.55	27.13	0.26	6.24	0.04	0.23
Parameters		Water content	Organic content		Ash	C.P.	C.F.	C.Fi.	E.Coli O-157	Salmonella spp.	Listeria
			W.B.	D.B.							
Feed	Dryness	21.75	56.87	72.20	21.39	19.58	6.85	12.91	N.D.	N.D.	N.D.
	Wetness	69.12	21.76	70.77	9.13	6.28	3.23	5.32	N.D.	N.D.	N.D.
Parameters		Gas composition(%)				C/N	NaCl (% W.B.)	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (% D.B.)	K <sub>2</sub> O (% D.B.)	
		CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>						
Anaerobic digestion	Biogas	54.02	41.05	0.12	0.02	-					
	Liquefied fertilizer	-				10.67	3.75	8.01	0.58	3.42	

W.B. : Wet base, D.B. : Dry base, C.P. : Crude protein, C.F. : Crude fat, C.Fi. : Crude fiber

4계절에 걸친 사료 내 병원성 미생물(E.Coli O-157, Salmonella spp, Listeria) 분석 결과, 모든 사료에서 이들 미생물은 검출되지 않았다. 사료화 공정 중 평균단계를 통해 병원성 미생물은 모두 사멸하지만, 습식사료의 경우 함수율이 높아 여름철 장기간 저장·운반 과정에서 이들 병원성 미생물이 재증식할 우려가 있으므로 각별한 주의가 필요할 것으로 사료된다.

혐기성소화시설에서 발생하는 바이오가스 내 메탄 함량은 4계절 평균이 약 54.0%인 것으로 조사되었으며, 계절 변화에 따라 그 편차가 큰 것으로 나타나 외부 온도변화에 대처하는 적절한 시설 운영유지가 필요할 것으로 판단된다.

음식물류 폐기물 혐기성소화 잔재물인 액비는 퇴비와 대체 가능한 정도의 비료 성분을 함유하고 있었지만, 3.0%를 상회하는 높은 NaCl 함량으로 인해 토양에 직접 시비는 어려울 것이다.

#### 4. 결론

본 연구에서 분석된 6종류의 유기성 폐기물은 종류에 따라 분석 결과에 있어서 큰 차이를 보였다.

하수슬러지는 건량 기준 유기물 함량이 평균 45.0% 범위를 보이고 있기 때문에 하수슬러지를 단독원료로 한 퇴비화는 낮은 유기물 함량으로 인하여 초기 퇴비화에 있어서 원활한 미생물 활성이 어려울 것으로 사료된다. 또한 각 폐기물의 염분농도 분석 결과에서는 음식물류 폐기물이 평균 1.10%로서 기타 폐기물에 비해 월등히 높은 수치를 보이고 있는 바, 자원화 되는 제품에 있어서 동·식물에 끼칠 수 있는 악영향 등을 고려한다면 전처리 단계에서 철저한 염분저감이 요구된다. 또한 하수슬러지 및 폐수처리슬러지의 항목별 중금속 평균 함량은 상당수 시료가 비료원료기준에서 공시한 규제치를 초과 한 것으로 조사되었다.

분석 결과를 정리하면, 각각의 유기성 폐기물은 다종다양한 특성으로 인해 단일 폐기물을 원료로 한 자원화는 효율적인 측면에서 그 기대치가 낮을 수밖에 없으며, 각 유기성 폐기물이 갖는 성상 및 특징들을 면밀히 분석하여 서로의 단점을 상호 보

완할 수 있는 의미에서 2종 이상의 폐기물을 서로 연계·혼합 처리 하는 방법이 폐기물로 인한 환경 부하를 최소화하며, 유기성 폐기물의 자원화에 있어서 매우 이상적인 방안이라고 판단된다.

하지만 현재 이같은 유기성 폐기물의 통합 처리에 있어서 선결되어야 할 문제가 산재되어 있는 실정에서 우선적으로 이루어져야 할 과제는 단일 종류의 유기성 폐기물에 한하여 이루어지고 있는 단편적이고 일률적인 자원화 시스템의 탈피이다. 보다 종합적이고 체계적인 개념에서 유기성 폐기물이 관리, 처리되어지는 통합관리 체계의 구축이 요구되며, 본 조사에서 얻어진 결과를 근간으로 하여 보다 효율적이며 실리적인 자원화 체계 구축을 통해 1억톤 가량의 폐기물이 더 이상 폐기물로서 버려지는 차원이 아닌 유용한 유기자원으로 우리 생활계로 다시금 순환 되는 자원순환 사회 구축이 실현 되어야 할 것이다.

## 5. 참고문헌

1. 환경부, 전국폐기물 발생 및 처리현황, (1995~2003).
2. 환경부, 하수도 통계, (1992~2003).
3. 환경부, 오수·분뇨 및 축산폐수처리 통계, (1996~2003).
4. 농촌진흥청, 농업과학기술원가축분뇨 퇴비, 액비 제조와 이용, (1999).
5. 자원재생공사, 음식물 및 유기성폐기물의 퇴비화 처리기술, (1996).
6. 농림부, 권역별 환경농업 모형 개발, (2003).
7. 농협중앙회, 비료사업통계요람, (2002).
8. 축산기술연구소, 남은음식물 사료화 심포지엄 남은음식물 사료의 가축이용 기술, (1999).
9. 국립환경연구원, 음식물쓰레기 줄이기 연구 결과 공동 발표회, (1998).
10. 농업과학기술원, 환경생태과가축분뇨 처리를 위한 바이오가스 이용기술 개발, (2002).
11. 자원재생공사음식물, 및 유기성폐기물의 퇴비화 처리기술, (1996).
12. 경기개발 연구원, 음식물쓰레기 감량화기 적정성 분석, (2000).
13. 농협중앙회, 농협지정 퇴비생산업체 현황, (1999).
14. 서울시립대학교 환경공학과, 유기성 폐기물의 장기연용에 따른 토양 오염의 영향 평가, 권순익, (2003).
15. (주)현대엔지니어링, 폐기물자원화기술, (1999).
16. 배재근, 음식물쓰레기 관리와 자원화 기술, (2003).
17. 이희선, 폐기물 자원화 기술의 고급화 방안 연구, (1999). 