

有機性 廢棄物의 資源化 體制構築에 관한 研究

Construction of Resource Recovery System for Organic Wastes

양재경*, 최경민**

〈目 次〉

- | | |
|----------------------|---------------------|
| I. 緒論 | IV. 資源化에 따른 技術適用 檢討 |
| II. 資源化 政策 方向의 設定 | V. 資源化의 實證事例 |
| III. 資源化 體制의 構築 및 運營 | VI. 結論 및 政策提言 |

〈Abstract〉

In this study a system for the treatment or recycling of organic wastes from both urban and rural area was recommended. It was developed based on the resource recovery system regarding human being by four technologies; forage, methane production, high-grade composting and complete decomposition. High quality compost can be produced by combining several kind of wastes produced from urban and agricultural areas. High quality compost must possess not only general characteristics of ordinary compost, but also a superior ability to improve the soil properties and must contain more nutrients for plant. Cedar chips were recommended as the main bulking agent to adjust moisture contents and air permeability. Charcoal and zeolite can be used not only as the second bulking agent but also as fertilizer for improve the soil amendment. Complete decomposition of organic wastes is defined by organic matter being completely converted to CO₂ and water. All the input water was evaporated by the heat produced through the oxidation of organic matter. In the present study, the complete treatments were successfully achieved for Shochu wastewater, swine wastes, thickened excess sewage sludge, wastes produced by Chinese restaurant and anaerobic digested sludge. First of all, recycling center of organic wastes should be established for the protect the environments and effective recovery of organic resources. This may means the way to derive the recovery of human value.

Key word: organic wastes, recycling center, high quality compost, thermophilic oxic process, anaerobic digestion, biological combustion.

* 청양대학 환경관리과 교수 (e-mail : kation@chollian.net)

** 일류기술 부설 연구소장 (e-mail : kyungmc@hanmail.net)

I. 緒 論

산업의 발달과 국민생활수준의 향상으로 에너지소비와 폐기물 발생량이 날로 증가되고 있는 실정이다. '95년 한해 동안 우리 나라에서 발생한 폐기물총량은 약 47,774톤이고, 이중 생활폐기물은 36,192톤으로 총 폐기물 발생량의 76%에 이른다(남송희, 1996). 도시 및 공단에서 발생하는 주요 폐기물로는 당밀 폐수, 양조 폐액, 수산가공폐기물, 축산가공폐기물 그리고 음식찌꺼기 등을 들 수 있으며, 대체로 성분이 다양한 고농도의 유기성 폐기물들이다. 반면에 농·어촌에서 발생하는 폐기물로는 음식폐기물과 축산 분뇨 등이 있으며 열량이 낮고 악취를 유발하며 수계의 부영양화를 촉진시키는 물질이 대부분임을 알 수 있다. 이렇게 다양하게 발생하는 오염물질의 처리 방법은 발생하는 오염물질의 수만큼이나 계속 새롭게 개발되어 왔다. 그러나 '94년도의 국내 폐기물처리는 통계를 보면 매립이 81.1%, 소각이 3.5%, 재활용이 15.4%로서 대부분 매립에 의존하고 있다(이상훈, 정재춘, 이성택, 1996). 또한 지금까지 개발되어온 적지 않은 처리공법들이 실용화 측면에서 운전의 난이성, 또는 경제성 문제로 환경오염물질의 효율적 처리와 처분분야에서 실효를 거두지 못하고 있는 실정이다. 이에 따른 환경오염으로 인하여 국민보건에 대한 위협은 물론, 지역이기심(NIMBY) 현상까지 초래되는 현실은 보다 경제적이며 효율이 높은 새로운 시스템을 절실히 요구하고 있지만 유기성 폐기물의 처리에 관한 뚜렷한 지표가 없어 항상 시행착오적 정책적 순환에 머물고 있는 실정이다.

한편 현재 우리 나라에서 이용되고 있는 유기성 폐기물의 처리·처분의 방법은 크게 해양투기, 매립, 소각, 혐기성소화, 호기성 소화, 퇴

비화, 사료화 등이 있다. 그러나 이러한 방법들의 모두가 활발하게 운영되는 것은 아니며 대부분 매립과 소각에 의존하고 있고 퇴비화와 혐기성 소화가 최근에 소규모로 운영되기 시작하는 실정이다. 이러한 방법들에는 각각의 장, 단점이 있기 때문에 보다 실질적 효과를 얻기 위해서는 기존 프로세스의 단점을 보완하고 장점을 적극적으로 개발이 필요하다. 에너지 절약형, 환경 친화적인 차원에서 인간에게 이로우며 더 이상 유해하지 않게 마무리가 가능한 공법으로 연결되어야 한다는 것은 원칙하에 해야 한다. 따라서 이를 구체화하기 위해서는 각종 처리와 처분방법에 대한 장·단점을 파악하여 유기성 폐기물의 유용 자원화를 위한 자원화 순위의 개념을 도입할 필요가 있다(모리 타다히로, 1993; Huiliangn Cai, 1994).

이렇게 유기성 폐기물의 처리방법이 자원화 순위를 근본으로 하여 정책적으로 결정된다면 보다 경제적이고, 환경 친화적인 인간과 자연가치의 회복과 보전을 위한 이상적인 처리와 처분 시스템이 발전할 것으로 사료된다.

따라서 본 연구의 목적은 우선 유기성 폐기물의 자원화 순위를 확립하고 이를 원칙으로 하여, 생활하수를 생물학적으로 처리할 때 필연적으로 발생하는 농축잉여슬러지와 양조폐액, 축산폐기물, 그리고 음식물 찌꺼기 등을 대상으로 사료화, 연료화 및 완전처리를 겸한 퇴비화를 수행함으로써 도시와 농촌을 연계한 고농도 유기성 폐기물의 처리 및 자원화 시스템을 구축하고, 유기성폐기물의 발생량 증대에 따른 새로운 개념의 처리와 처분 방안을 제시하고자 함이다.

II. 資源化 政策 方向의 設定

<그림 1>에는 유기성폐기물의 자원화를 위하

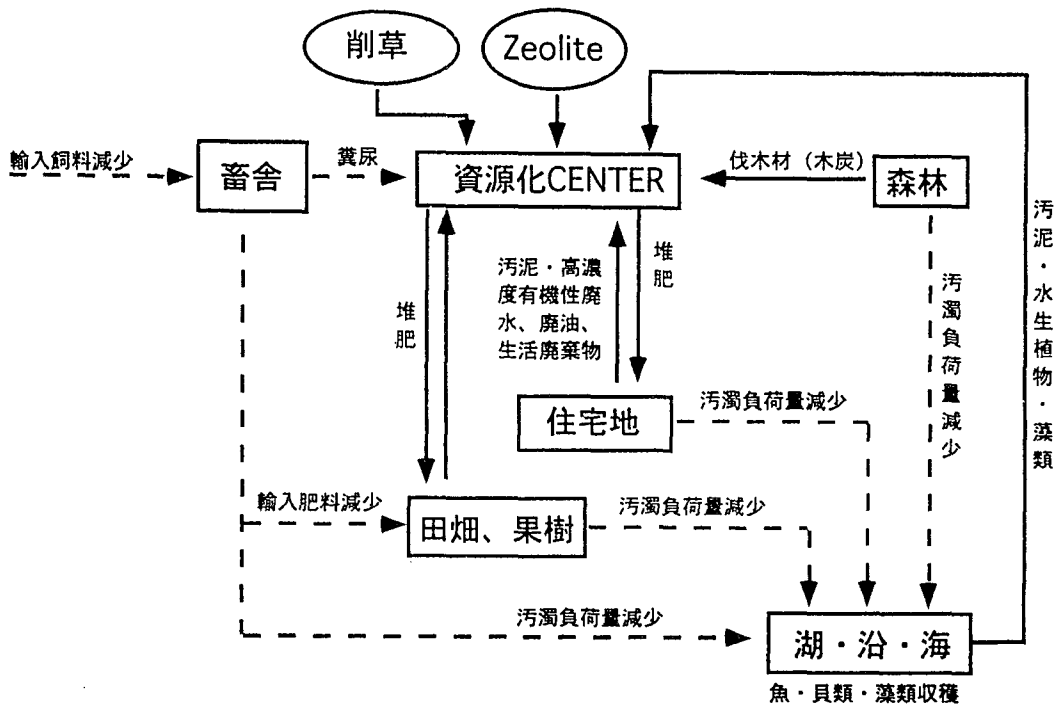
데 소각처리는 짧은 시간에 많은 양의 유기성 폐기물을 처리할 수 있고 여열을 난방용으로 충분히 이용할 수 있다. 그러나 이 방법은 우선 운영경비가 대단히 높으며 폐기물의 분리를 확실히 하지 않고 소각할 경우, 다이옥신의 휘산과 같은 대기오염과 소각재의 침출액으로 부터 중금속 누출과 각종 난분해성 물질에 의한 수환경과 토양환경 오염의 유발 가능성을 가지고 있어 지역주민들로부터 님비현상을 일으키고 있다. 생물학적 산화는 단위 시간당 처리정도가 소각처리보다 대단히 적은 단점이 있지만 퇴비화를 통한 유기물 감량보다는 크다. 또한 소각처리 비용에 비하여 에너지가 적게 들고, 중금속 등의 농축 우려가 없는 유기성 폐기물을 처리할 경우는 최종 산물을 퇴비와 토양 개량제로서 재활용할 수 있기 때문에 자원으로서의 가치가 높다 또한 이때 발생하는 열에너지를 혐기성 소화와 같이 수리학적 체류시간이 비교

적 긴 공정의 가온 에너지로 대신 할 수도 있을 것이다(양재경, 1997a).

따라서 유기성 폐기물의 처리방법을 선택할 때는 모든 유용한 방법을 동원하되 가능하면 사료화, 연료화 그리고 퇴비화 순서로 장려하고 이들을 이용할 수 없는 폐기물의 경우, 마지막으로 소각을 고려해야 할 것이다. 이상에서 상술한 바와 같이 보다 경제적이고, 안정적이고 환경친화적인 유기성 폐기물의 처리방법은 이러한 자원화 순위에 기초하여 결정되어야 할 것이다

III. 資源化 體制의 構築 및 運營

〈그림 2〉의 종합처리 및 자원화시스템에서 나타낸 바와 같이 각 지역에서 발생하는 모든



〈그림 2〉 有機性 廢棄物, 廢水의 總合的 資源化 System^{b)}

유기물들을 처리와 처분의 대상으로 삼을 수 있다(모리 타다히로, 1996). 이러한 예로서 하수오니와 음식 찌꺼기 등이 주를 이루고 있는 도시형 고농도 유기성 폐기물, 분뇨, 정화조오니, 고농도 유기성 폐수 및 폐유등을 들 수가 있다. 한편 농촌에서는 축사분뇨처리가 문제로 대두되고 있으며 적절한 처리 및 자원화 방안이 요망되고 있다.

또한 농촌의 생활수준도 도시와 같은 정도로 향상되고 있어서 하수의 발생량 증가에 의해 하수처리시설의 보급이 요구되고 있는 실정이며, 멀지 않은 장래에 부락별 소규모 하수처리시설이 만들어 져야 할 것이며, 이에 따른 잉여슬러지의 대량 발생이 예상되고 따라서 농촌에서 발생하는 잉여슬러지와 생쓰레기도 처분의 대상에 포함된다. 이밖에 농촌에서는 쌀겨라든지, 작물의 잔사, 산림의 벌목시 발생하는 폐수립과 폐자재 등이 존재하고 연안의 어촌에는 하천 유역과 호수 등의 수역에서 발생하는 유기물이 포함되어야 한다. 수역에서 발생하는 유기성 폐기물로는 갈대 등의 수생 식물과 잡초, 회수한 수화분(水華粉) 및 오니등이 포함되며 이들에 대한 자원화센터에서의 적극적인 활용이 기대된다. 이상에서 언급한 유기성 폐기물들은 도시와 농촌 그리고 수역 각각의 지역에서 폐기물로 취급되고 있지만 일정한 장소에 수집하여 적절히 혼합함으로써 퇴비로서 유용하게 이용될 수 있다. 이를 위해 먼저 각 지역에서 발생하는 유기물의 종류와 양, 성질과 발생시기 등을 정확히 파악하고, 어떤 유기성 폐기물의 발생에 대하여 다른 어떤 유기물과 어느 정도로 혼합해야 되는지를 정확히 계산하여 적절한 혼합처리를 거쳐 자원화를 이루는 것이 필수적으로 요망된다.

이와 같이 계통적인 유기물의 흐름을 정확히 파악하여 폐자원의 재이용이 절실히 필요하며,

이를 위해서는 사료화, 메탄가스의 생산을 위한 혐기성 발효시설과 고품질 퇴비화 및 고온·호기처리의 4개 공정을 갖춘 유기성 폐수 및 폐기물의 종합처리 및 자원화 센터의 설립이 필요하다.

IV. 資源化에 따른 技術適用 檢討

1. 유기성 폐기물의 사료화

음식물 찌꺼기를 비롯한 유기성 폐기물의 사료화는 자원화 순위 중 식량화를 제외한 가장 높은 위치를 차지하고 있으며 상대적으로 부가가치가 매우 크다. 따라서 유기성 폐기물의 사료화를 위해서는 위생적, 영양학적 및 보존성, 운반성 등의 경제적 측면이 고려되어야 하고 대상 유기성 폐기물들의 성상 및 종류에 따라 적절한 방법을 선택해야 한다. 사료화의 방법에는 다음과 같은 것들이 있다.

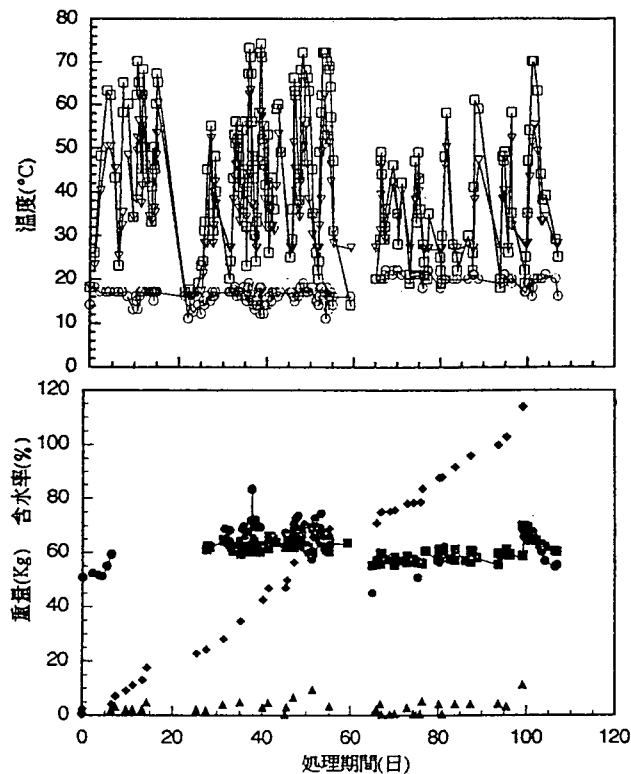
-일반적인 건조방법으로는 드럼이나 터널을 이용한 열풍 가열법, 스팀을 이용한 간접 가열법 그리고 유온 탈수법이 광범위하게 연구되고 있다. 그러나 이러한 방법들은 설비비와 에너지의 손실이 크고 경제성이 작을 뿐만 아니라 건조과정에서 휘발이나 산화에 의한 영양가치의 손실이 크다.

-균체단백질 생산법은 유기성 폐수를 이용하여 호기성 발효를 통해 사료용 효모균체를 생산하는 것이다. 효모는 발효식품에 관여하는 미생물로 비타민의 공급원이 될뿐만 아니라 단백질의 함량이 높아 동물의 사료에 첨가할 때, 가축의 체중이나 우유의 생산, 그리고 건강의 증진에 효과가 크다는 것이 여러 연구자들에 의해 밝혀지고 있다. 이밖에도 중온 혐기적 발효법이나 고온·호기적 발효법 등이 있다.

2. 혐기성소화-고온·호기프로세스에 의한 에너지의 생산

혐기성소화의 장점은 고농도의 유기물을 비교적 낮은 에너지 비용으로 처리할 수 있으며 호기성 처리에 비하여 슬러지의 발생량이 적다는 것이다. 또한 슬러지의 탈수 및 건조가 쉽고 기생충란과 전염병균이 사멸되고 발생하는 메탄을 연료로 이용할 수 있다. 동력시설을 필요로 하지 않으므로 에너지 소비가 저렴한 장점도 갖고 있다. 그러나 반응이 더디고 소화기간이 비교적 오래 걸리며 호기성처리와 같은 처리율이 얻어지지 않기 때문에 처리수를 다시 호기성 처리해야 하는 단점이 있다. 따라서 메탄 소화공정의 효과를 최대한 유지시키면서 단점을 고온·호기프로세스를 통하여 보완해 간다면

유기물의 감량효과와 에너지의 생산으로 효율적인 자원화가 가능하며 환경 친화적 프로세스로 전개시킬 수가 있다. 그러나 4계절이 뚜렷한 우리나라의 실정에서는 혐기성소화의 효과를 최대로 얻기에는 적지 않은 무리가 따르고 있다. 왜냐하면 혐기성 소화 과정에서 얻어진 소화 가스는 혐기성 소화조를 가온하기 위한 연료로 거의 전량 이용되기 때문이다. 한편 고온·호기 프로세스에서 발생하는 바이오 열은 혐기성 소화조의 가온에 재활용이 가능하다고 사료된다. 그 예로 <그림 3>에 혐기성소화-고온·호기프로세스의 온도변화를 나타내고 있다(양재경, 1997b). 유기물의 투입에 따라서 고온·호기프로세스의 온도가 상승하고 있음을 알 수 있으며, 이에 따라 혐기성 소화조의 온도



<그림 3> 好氣性 消化-高温·好氣 프로세스에 의한 中華料理店の 残飯處理중의 反應物の 温度, 投入量 및 重量의 徑日變化. (-□-反應物温度, -○-外氣温度, -▽-嫌氣性 消化槽温度, -■-反應槽重量, -▲-投入量, -◆-投入縮積量, -●-投入量)

가 35~60℃를 유지함으로써 고온·호기프로 세스로부터 발생한 바이오 에너지가 충분히 중·고온소화 혐기성 소화조의 가온에 이용될 수 있다는 가능성을 보여 주고 있다. 하수오니 등 고농도 유기성 폐기물을 농경지에 이용할 경우 안전성은 물론이거니와 악취가 없고 취급

품질 퇴비라고 정의할 수 있다.

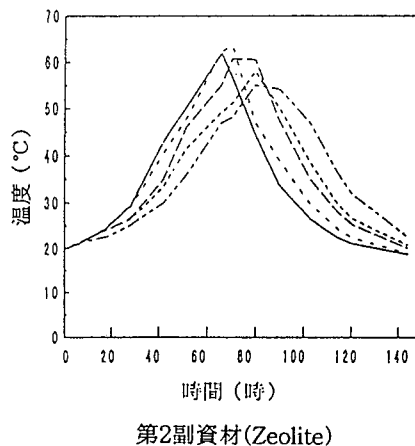
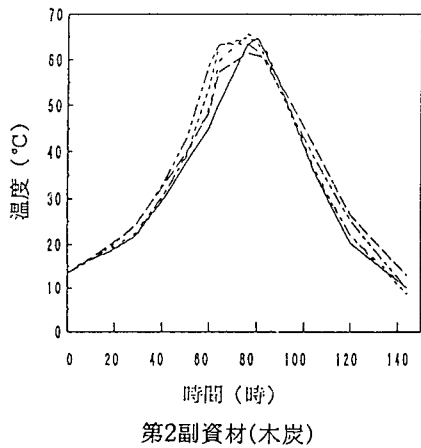
고품질 퇴비를 제조하는 방법의 하나는 농업 또는 임업으로부터 배출되는 유기물등을 부자재로서 혼합하는 것이다. 목질재, 목탄, 분쇄쌀겨, 제올라이트 등이 이용될 수 있으며 이들을 적절히 혼합하면 퇴비화에 도움이 될 뿐만 아

〈표 1〉 고품질 콤포스트의 정의

종	<ul style="list-style-type: none"> · 유해물질에 관해서 안전기준을 만족할 것 · 비닐, 유리, 금속병뚜껑 등을 포함하지 않을 것 · 병원균이 멸균되어 있을 것 · 혼합된 잡초의 종자가 불활성 일 것 · 취급성이 좋을 것 	안정성
래	<ul style="list-style-type: none"> · 악취가 없을 것 · 유기물이 안정화 되어 있을 것 	취급성
장	<ul style="list-style-type: none"> · 퇴비에 유사 할 것 · 토양개량효과가 높을 것 	고품질성
래	· 비료성분의 함유율이 일정하며 균형이 잡혀 있을 것	

성이 좋아야한다. 앞으로는 이러한 성질이외에도 〈표 1〉에 나타난 바와같이 형상 내용이 종래의 퇴비에 가깝고, 토양개량효과가 높으며, 비료성분이 안정한 농도로 존재하는 퇴비가 고

나라 토양 개량재 및 유기질 비료로서의 효과를 높일 수가 있다. 고품질 퇴비를 만들기 위해서는 제1부자재와 제2부자재를 구분하여 정의하고 이들을 적절히 이용할 것을 제안하고 싶



〈그림 4〉 下水汚泥의 高品質 콤포스팅過程중 第2副資材의 混合率에 대한 溫度變化(第1副資材인 삼나무톱밥은 下水汚泥에 대하여 20w/w% 混合함) —5%, ---10%, - - -20%, - · - 30%, - · - 40%

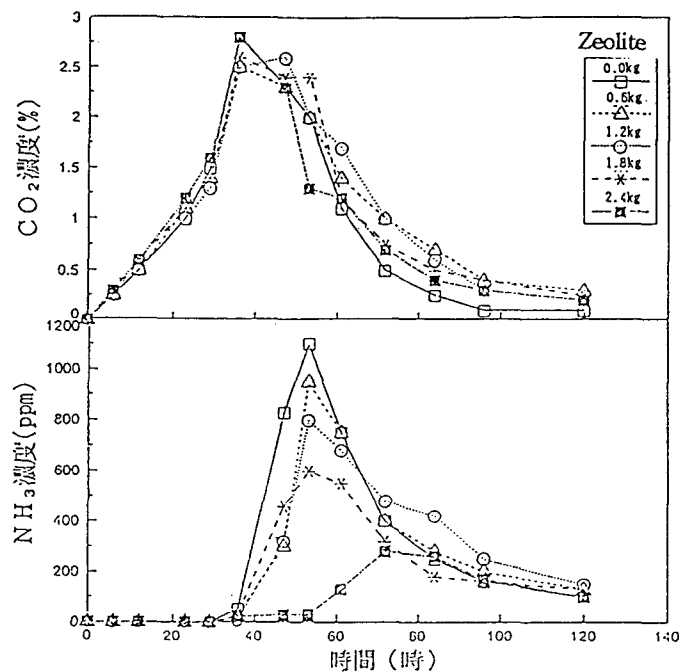
다. 제1부자재는 함수율을 조정하여 통기성을 개량하는 것으로 한다. 이에 해당하는 부자재는 목질재(톱밥 등)와 왕겨를 들 수 있다. 제2부자재는 주로 토양개량 및 비료성분의 보완을 목적으로 한다. 목탄과 제올라이트가 이에 해당한다. <그림 4>는 하수오니 6 kg과 식종퇴비 2 kg(약30%)에 대하여 제1부자재로서 삼나무 목질재를 1 kg(약15%)첨가하고, 여기에 제2부자재로서 목탄 또는 제올라이트를 오니에 대하여 40% 첨가하여 퇴비화를 행한 결과이다.

이 실험은 20 l의 실험실 규모로 이루어졌다. 결과에 의하면 어떠한 조건에서도 50℃이상의 온도가 30시간 이상 유지되었다. 이러한 실험 결과는 병원균의 살균, 혼입 종자의 불활성화 및 악취제거가 가능함을 나타내고 있다. 부자재로 이용한 삼나무 목질재, 목탄 및 제올라이트의 성질을 <표 2>에 나타내었다. 이 표로부터 목질재의 수분흡수능력이 가장 높으며 다음은 목탄인 것을 알 수 있었다.

화학적인 토양개량으로서는 양이온 교환능력

<표 2> 콤포스트 부자재의 성질

부자재	흡수성 (g-H ₂ O/g-ds)	T-N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CEC (cmol(+)/kg)
목질재	2.53	0.5	0.02	0.07	29.3
목 탄	1.30	1.3	0.14	0.69	6.7
Zeolite	0.63	0.1	0.02	0.31	70.5



<그림 5> 콤포스트과정중 排氣가스中の 二酸化炭素와 암모니아 濃度變化(脫水케익:6.0kg, 接種콤포스트:2.0kg, 삼나무톱밥:1.0kg에 대하여 Zeolite를 均중의 條件에 따라 混合하였다).

(Cation Exchange Capacity; CEC)이 중요하다. 제올라이트의 CEC가 높기 때문에 제올라이트를 제2부자재로서 이용한다면 토양개량 효과가 높은 퇴비를 얻을 수 있다(모리 타다히로, 1996; Liu bao Gang, 1992, 1993). 오니중에는 칼륨이 적지만 목탄을 이용하면 보완할 수 있다. 목탄중에는 인산도 비교적 많이 포함되어 있기 때문에 인의 첨가효과도 약간 있다. 제올라이트는 <그림 5>에서 볼 수 있는 바와 같이 퇴비화 과정에서 발생하는 암모니아를 흡착할 수 있으므로 이것을 이용한다면 암모니아가 많은 퇴비를 제조할 수가 있다. 더 나아가 목질재와 목탄은 유용한 토양세균의 서식처로서 이용 가능하므로 생물학적 토양개량효과를 얻을 수 있다. 또한 부자재를 입수하는 과정에서 농림업측과의 교류가 발생하여 퇴비화의 유통을 확대하는데 도움을 줄 수 있다고 생각된다.

4. 고온·호기프로세스에 의한 유기성 폐기물의 완전처리

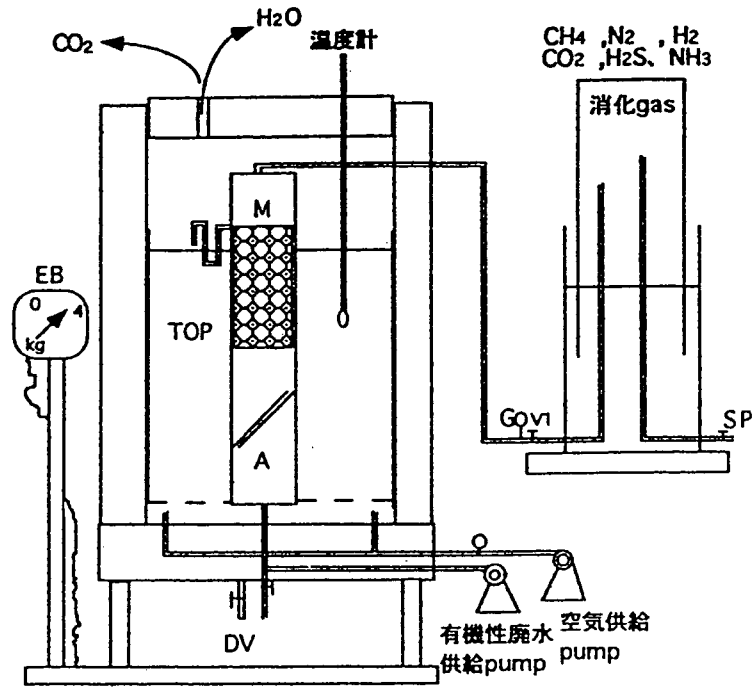
고온·호기법에 사용되는 담체는 흡수성이 좋고 미생물이 서식하는 장으로서 값이 싸며, 생물분해가 어려워야 하며 목질재, 목탄, 활성탄 및 제올라이트 등이 있다. 특히 목질재 및 목탄의 이용은 산촌에서 배출되는 산림폐기물을 재이용하기 때문에 산림의 부활 방법으로서도 의미가 깊다. 고농도 유기성 폐수로서는 <표 3>에 나타낸 바와 같이 여러가지 종류가 있지만 본 논문에서는 소주, 돈분뇨, 잉여오니와 혐기성 소화오니를 예로 들었다.

혐기성 소화 및 고온·호기프로세스의 실험장치를 <그림 6>에 나타내었다. 발효조는 아크릴수지로 제작한 60ℓ 유효용적의 원통형 반응기이다. 하부판은 2-3 mm의 구멍을 뚫어 공기의 분산을 적극적으로 유도하였으며 미생물에 의한 반응열의 손실을 억제하기 위하여 두께

<표 3> 고농도 유기성 폐수의 종류와 수질

고농도유기성폐수	BOD	COD	SS
· 식품가공폐수 (제안폐수)	23,000 ~46,000	20,000 ~30,000	3,000 ~4,300
· 양조폐수(소주)	60,000 ~70,000	45,000 ~52,000	112,000 ~119,000
· 분뇨	14,000 ~20,000	8,600 ~15,000	20,000
· 식당잔반	75,000	30,500	81,000
· 농축하수오니	12,000	12,000 ~20,000	37,000
· 축사분뇨	24,000	12,000 ~40,000	80,000
· 폐식용유	2,204,000	198,000	ND

unit : mg/l,
참고문헌(모리타다히로, 1995)



<그림 6> 혐기소화-고온·호기처리장치.

M;methant生成槽, A;酸生成槽, G;gage, V;valve, SP;試料採水口, EB;電子天秤,
DV;排水口, TOP;高溫·好氣槽

30-100 mm의 아티론(폴리우레탄성분의 일종) 또는 발포 스티로폼으로 발효조의 둘레를 단열하였다. 발효조 안에는 약 4 l의 유효용적을 갖는 혐기성 소화조를 설치하여 고온·호기 반응조에서 유기물의 산화시 발생하는 반응열을 혐기성 소화조의 가온에 이용할수 있도록 하였다. 혐기성소화조에서의 소화액은 고온·호기조로 유입하도록 하였으며 완전처리될 경우, 배수가 없도록 하였다. 고온·호기 반응조에는 2~3mm의 목질재로 충전하였다. 여기에 고농도 유기성 폐수를 1~2일에 1회 실험조건에 따라 첨가하였다. 돈분뇨나 하수오니 그리고 혐기성 소화오니와 같이 수분증발을 위한 열량이 부족한 폐수에 대해서는 폐식용유를 첨가하여 열량을 보급하였다. 통기는 하루로부터 행하였으며 관상용 어항의 공기펌프 또는 압축공기를

이용하였다. 각 실험조건과 결과는 다음의 실증 사례에서 설명하고 있다.

V. 資源化 實證事例

1. 유기성 폐기물의 사료화

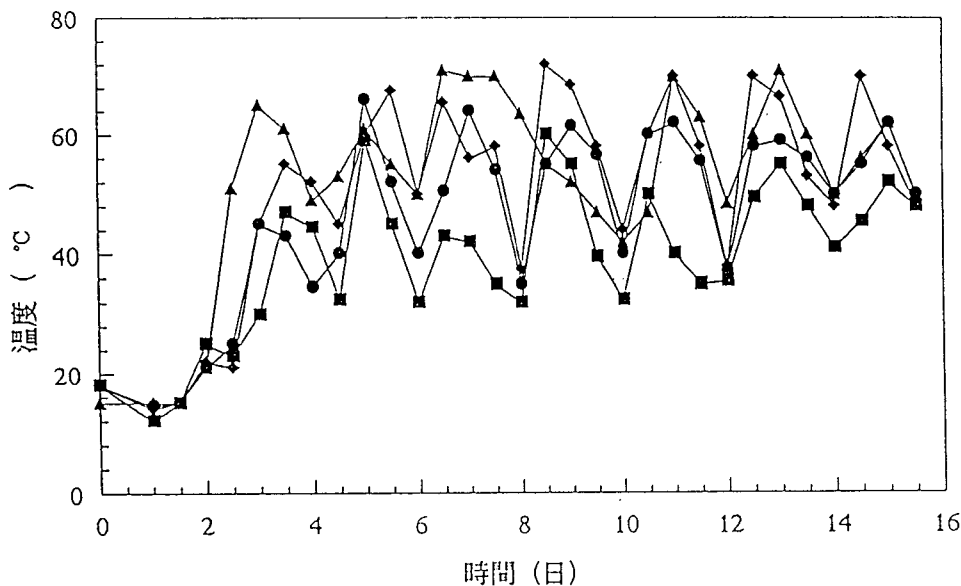
음식물 찌꺼기와 유기성 폐기물들의 자원화 방안으로 아프리카산 고온성 발효 효모인 *Candida rugosa*를 증식시켜 균체생산을 이용한 사료화가 시도되었다(이기영, 1997). 사탕 무우당밀 증류폐액을 기질로 이용할 경우, 40℃에서 균체의 증식 속도는 0.15~0.19 h⁻¹였고 생산성은 0.9~1.13 g/l·h, 그리고 COD(화학적 산소요구량)감소율은 25~45%를 나타내었다. 연속식 발효시에는 회석율이 0.15

h-1에서 0.85 g/l·h로 가장 높은 생산성을 나타내었다. 생산된 효모 균체는 45.1%의 조단백질, 36.5%의 biuret 단백질, 그리고 5.6%의 RNA를 함유하였다. 또한, 계분에서 잘 증식하는 효모의 일종은 계분에 함유된 휘발성 유기산을 잘 자화시켜 악취를 감소시켜 주는 역할을 하였고 사료로 이용시 가축성장 방해 인자인 uric acid를 분해시켜 탄소원 및 질소원으로 이용하여 계분의 사료화에 적합함을 시사해 주었다. 한편, 음식물 찌꺼기의 중온 혐기적 발효 사료화시 첨가한 발효촉진제에는 Saccharomyces, Hansenula, Streptomyces, Bacillus Streptoverticillium, 그리고 Lactobacillus 등이 주요균주로 나타났는데, 4~6일간 발효후 유기산 및 알콜 함량이 크게 증가하였으며, 25℃에서 5주이상 부패하지 않고 유지되었다.

2. 혐기성소화 및 고온·호기프로세스에 의한 유기성 폐기물의 퇴비화 및 완전처리

1) 소주폐액

고농도 유기성 폐수의 예로서는 소주 폐액을 들 수가 있다. 소주 폐액은 일반적으로 BOD가 약 70,000 mg/l, SS는 약 100,000 mg/l 정도이다(Liu Bao Gang, 1993). 투입은 1일 1회, BOD용량부하를 3.5 kg/m³.d로 하고, 삼나무 목질재와 혼합한 후 함수율을 60%로 조정하고 통기량은 200 l/m³.min으로 조절하였다. 그 결과 온도는 45℃정도 상승하였다. 이때 탄소의 수지를 평가해보니 투입한 탄소의 70% 정도가 이산화탄소로 전환하였으며 30% 정도는 분해되지 않은 상태로 반응조 안에 잔존해 있었으며 약간의 배수가 발생하였다. 수분은 70% 증발하였지만 15%정도가 배출되었으며 나머지 15%정도는 반응기 중에 축적하였다. 따라서 시간의 경과와 함께 반응조내는 혐기적으로 되어 온도는 더 이상 상승하지 않았고 처리할 수 없었기 때문에 원심농축에 의하여 소주 폐액을 농축하여 BOD와 SS 200,000 mg/l



<그림 7> 高溫·好氣프로세스에 의한 燒酒廢液의 處理中 反應物의 溫度의 徑日變化 BOD濃度(mg/l):- ■ -50,000, - ● -80,000, - ▲ -170,000, - ◆ -190,000

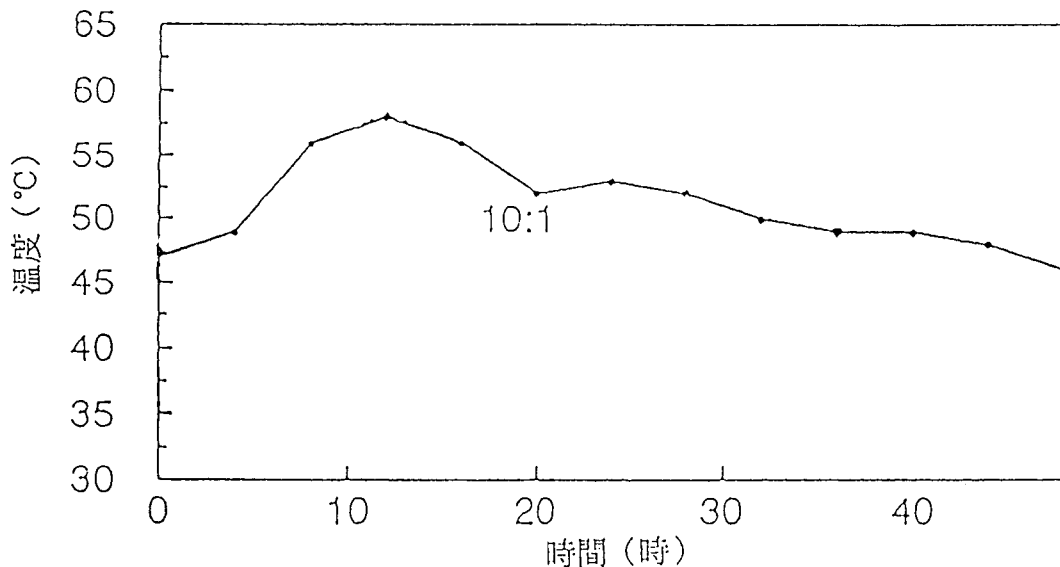
로 한후, 그것을 BOD용적부하 10 kg/m³.d, 합수율 60%로 운전을 하였다.

그 결과 <그림 7>에서 나타낸 바와 같이 온도가 50℃이상으로 상승하였다. 또한 소주 폐액중의 SS는 5,132 Kcal/kg-ds의 열량을 가지고 있어 모든 물을 증발시키기 위한 열량으로서는 부족하였다. 한편 농축할 경우 SS는 200,000 mg/l로 되어 자신이 가지고 있는 열량이 1,026 Kcal로 되기 때문에 투입된 물을 증발시키기에 충분한 에너지를 갖는다. 이때 탄소수지를 평가해 보니 투입한 소주폐액중의 탄소의 대부분이 이산화탄소로 전환되었음을 알 수 있었다. 이러한 조건하에서 100일간 연속 운전한 결과, 실험기간 중 배수의 발생은 전혀 없었으며 반응조내의 혼합물의 중량은 실험 초기에는 약간 증가하는 현상을 보이지만 그후 일정하게되어 크게 증가하지 않았음이 관찰되었다. 이는 잉여오니의 발생이 극히 작다고 하는 것을 의미하며 발생한 에너지로 인해 투입된 배수가 전부 증발하였음을 말해주고 있다

(양재경, 1995).

2) 돈분뇨의 처리

앞에서 언급한 바와 같이 배수가 갖는 열량이 높을 경우, 배수를 모두 증발시킬 수 있음을 알았다. 그렇다면 어떠한 배수라도 높은 열량의 유기물질을 첨가 한다면 배수의 증발이 가능하다. 돈분뇨 혼합물은 BOD, SS가 30,000 mg/l 정도의 고농도 유기성 배수이다. 돈분뇨의 TS열량은 3,700 Kcal/kg-ds이기 때문에 투입된 돈분뇨가 가지고 있는 열량은 111 kcal/reactor 정도 였다. 따라서 이 상태로서는 모든 수분을 증발시키기에 열량이 부족하기 때문에 돈 분뇨에 식용 폐유를 미생물에 의한 유기물의 산화 분해시 발생시킬 수 있는 에너지 보조원으로 혼합하여 고온·호기처리를 행하였다(Liu Bao Gang, 1992). 돈분뇨에 대하여 10%의 폐유를 첨가하였을 때 <그림 8>에 나타낸 바와 같이 온도는 55℃로 상승하였으며 돈분뇨 중의 모든 수분을 증발할 수가 있었다. 혼합된 100g

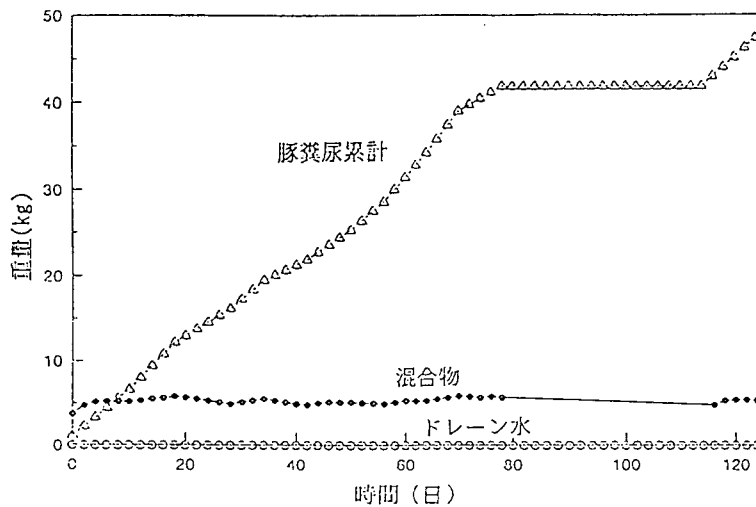


<그림 8> 豚糞尿에 廢食用油를 10%混合할 경우, 反應物溫度의 變化¹⁰⁾
 (第1 副資材: 삼나무톱밥, 通氣速度: 200 l/m³ min

의 폐식용유가 가지는 열량은 800 Kcal 정도였기 때문에 투입된 수분을 모두 증발할 수 있었음을 알 수 있었다.

이때의 BOD부하는 12 kg/m³.d였으며, 목질재의 함수율은 60%를 유지하였다. 탄소 수지를 분석한 결과 돈분뇨중의 탄소 90% 이상이 이산화탄소로 전환되었다.

발시키기에는 열량이 부족하기 때문에 식용폐유를 첨가하여 고온·호기처리를 행하였다. 1kg의 하수 농축잉여오수에 대하여 100 g의 식용폐유를 혼합하고 2일에 1회 반응조에 투입하였다. 혼합물의 함수율을 55% 정도로 유지하고 통기량을 100 l/m³·min으로 하였다.



〈그림 9〉 豚糞尿 處理에 대한 反應物의 重量變化

(第1 副資材: 삼나무톱밥, 廢食用油: 10%混合, 通氣速度: 200 l/m³ min¹⁰)

〈그림 9〉는 상술한 바와 같은 조건에서 약 4개월간 연속 운전한 결과를 보여준다. 4개월간의 실험 기간중 배수의 발생이 없었으며 반응조내의 혼합물의 중량도 거의 변화가 없었다.

이와 같은 결과로부터 돈분뇨 역시 많은 잉여오수의 발생없이 완전처리가 가능함을 확인할 수 있었다.

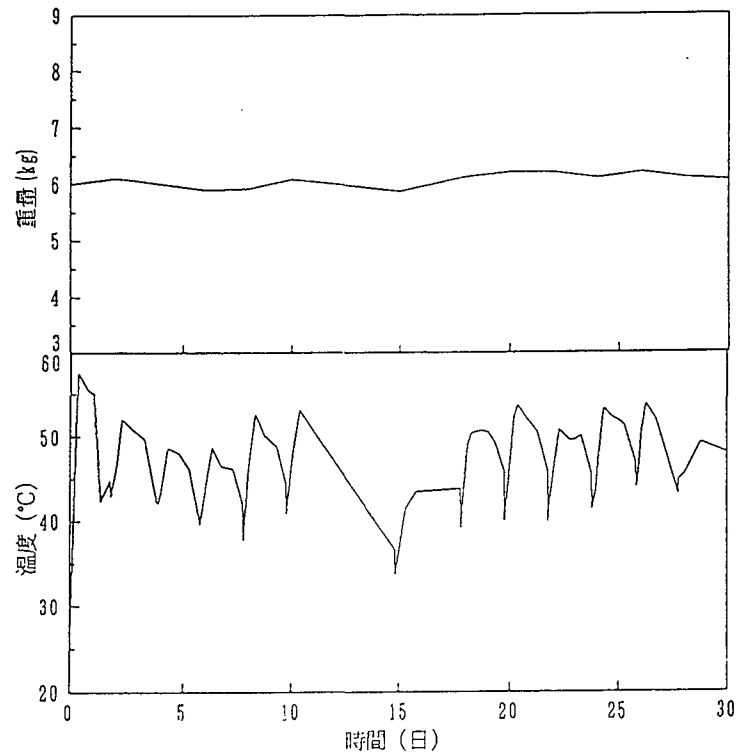
3) 하수농축 잉여오수의 처리

하수농축 잉여오수의 SS는 통상 약 3%, BOD는 12,400 mg/l 정도로 유기물의 함유량이 소주 폐액과 돈분뇨보다는 낮다. 이대로는 돈분뇨와 마찬가지로 투입된 수분의 전부를 증

발시키기에는 열량이 부족하기 때문에 식용폐유를 첨가하여 고온·호기처리를 행하였다. 1kg의 하수 농축잉여오수에 대하여 100 g의 식용폐유를 혼합하고 2일에 1회 반응조에 투입하였다. 혼합물의 함수율을 55% 정도로 유지하고 통기량을 100 l/m³·min으로 하였다.

4) 오수의 혐기성 처리

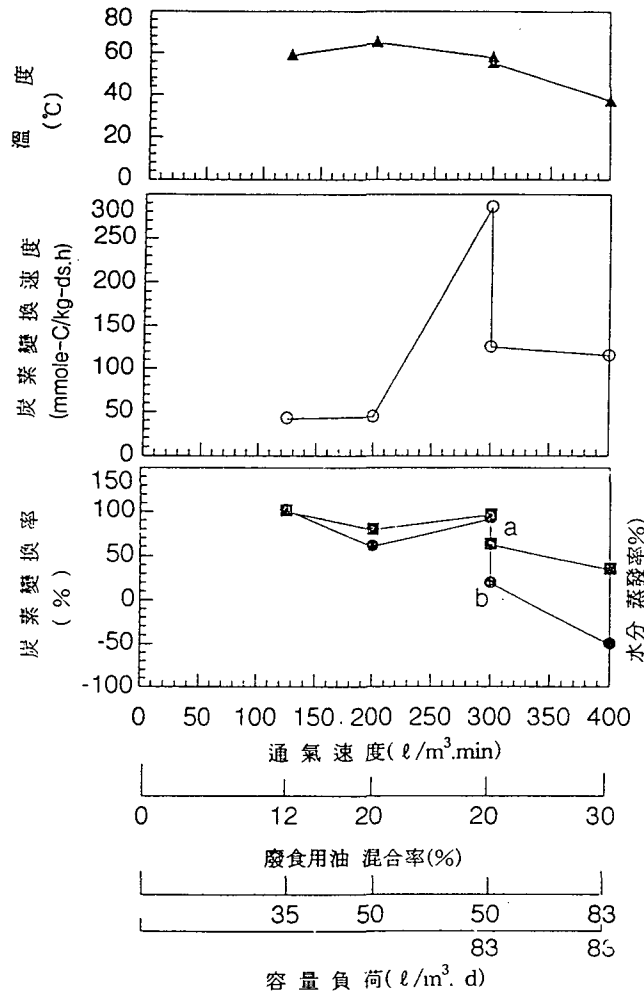
앞서 언급했듯이 혐기성 소화법은 유기물의 감량과 안정화를 위해서 뿐만 아니라 메탄과 같은 대체 에너지의 생산을 위해서도 좋은 공정이기 때문에 본 자원화 시스템의 한부분에 속해 있다. 그러나 혐기성소화를 거친 소화액은



〈그림 10〉下水濃縮剩餘汚泥의 處理에 대한 反應物의 重量 및 溫度의 變化
 (第1副資材:삼나무톱밥, 廢食用油:10%混合, 通氣速度:100 l/m³·min)

고농도의 유기물과 유화물 그리고 암모니아 성분을 포함하고 있어서 후처리를 거치지 않고 그대로 환경에 방치될 경우, 2차적 환경오염을 초래할 수 있다(양재경, 1997A). 또한 일반적으로 혐기성 소화액은 고액분리를 거친 후 상등액은 회석되어 활성슬러지 공정에서 다시 처리되고, 슬러지케익은 퇴비화, 소각, 매립 그리고 해양투기 등을 거쳐 최종적으로 처분되거나 거의 매립이나 소각처분에 의존되고 있는 실정이다. 그러나 이들 방법들은 고도의 기술을 요하고 있는 동시에 2차적 환경오염과 운영경비가 비싸다는 것이 단점이다. 예를들면 활성슬러지법을 이용하여 처리할 경우, 시설의 부식과 용존산소의 다량요구, Beggiatoa, Thiotrix와 같은 사상균의 이상번식에 의하여 슬러지의 팽화문제를 초래한다. 매립에 의해 처리를 행할

경우 침출수의 발생에 의해 토양과 수환경의 오염이 우려되고 소각에 의해 처리될 경우에는 NOx, SOx 그리고 다이옥신의 휘산이 우려된다. 그러나 혐기성 소화오니를 고온·호기 프로세스를 이용하여 처리할 경우는 수분의 증발을 위한 에너지의 혼합이 이루어 져야 한다는 것이 단점이지만 안정화된 유기물과 암모니아와 유화물의 존재는 산화후 비료성분인 황산 암모늄(유안비료: (NH₄)₂SO₄)과 인산암모늄(인산비료: (NH₄)₃PO₄)를 형성할 수가 있어 자원화의 가치가 있을 뿐만 아니라 혐기성 소화를 거친 소화액이 퇴비화되는 과정에서는 악취의 발생은 없었다(양재경, 1996). 따라서 〈그림 11〉에서 알수 있듯이 본 연구에서 얻어진 혐기성 소화슬러지의 최적 처리조건은 20%의 폐식용유 첨가율, 약 300 l/m³·min의 통기



〈그림 11〉 嫌氣性 消化汚泥處理에 대한 容量負荷, 廢食用油 및 通氣速度가 反應物의 溫度, 炭素 變換速度와 變化率 및 水分蒸發率에 미치는 影響¹⁵⁾

속도 그리고 50 l/m³·d의 용량부하에서 완전처리가 가능하였다. 이때 최대 온도는 52°C, 탄소 변환속도는 280 mmole/kg-ds·h, 탄소 변환율과 수분의 증발율은 거의 100%였으며, 악취발생도 없었다. 또한 방선균과 간균이 유분을 함유한 유기물의 분해에 관여하는 주된 미생물로 관여하고 있는 것으로 사료된다.

5) 중국음식점 잔반의 처리

유기성 폐기물로서 중국 음식점으로부터 배출

되는 잔반을 이용하여 처리특성이 검토되었다. 잔반의 구성성분은 고형물이 25.3%, 회분이 1.95% 그리고 휘발성 고형물이 98%로서 유기성 폐기물이라는 것을 알 수 있고, 이러한 고형물의 단위중량당 소유하는 열량은 약 5,700 Kcal/kg-ds임을 나타내 중국음식점의 잔반중에 기름성분, 삶은 야채와 면류, 그리고 오징어와 같은 해산물이 많이 포함하고 있는 것을 대변해주고 있다. 약 7개월 동안 수행된 연구에서도 최적 용량부하는 50 kg/m³·d, 최적 통

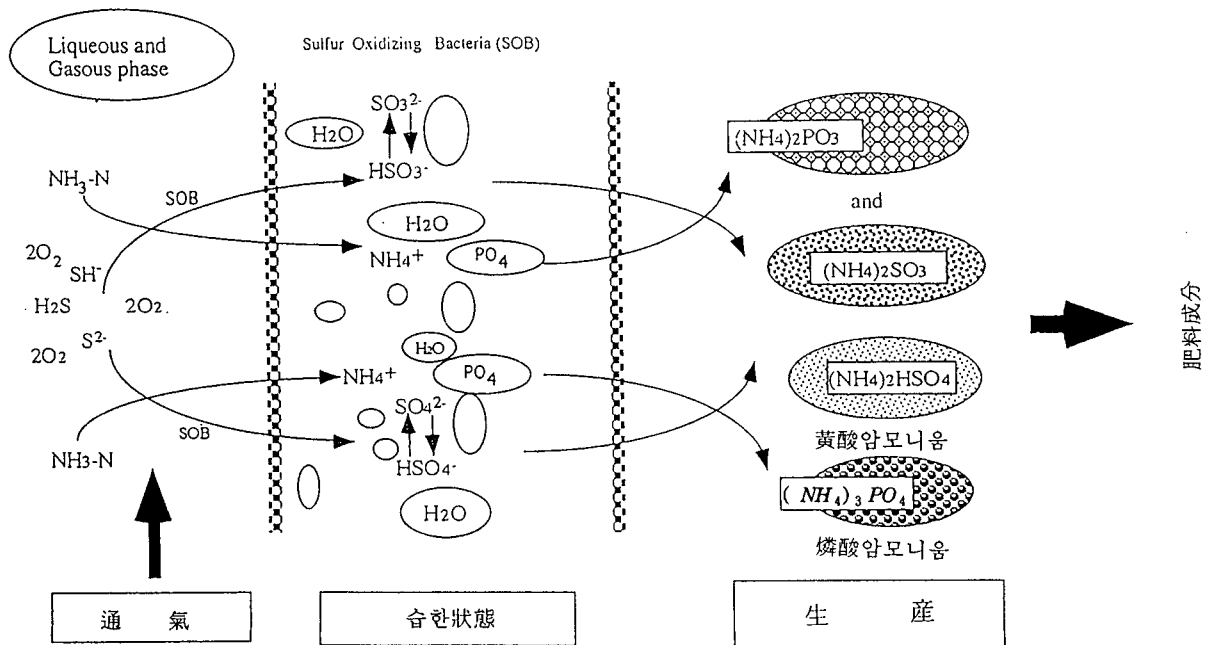
기속도는 250 l/m³·min 수분의 증발과 부피와 중량감소는 거의 100%를 나타내었으며, 이때 최대온도는 70℃를 나타내었다(그림 3참조). 본 연구에서도 배수와 중량증가는 관찰되지 않았으며 평균 5%이상의 이산화탄소 농도를 나타내었다. 따라서 이러한 결과를 토대로 중국 음식점의 잔반역시 완전처리를 겸한 퇴비화가 가능함을 알수 있다(양재경, 1997c).

2. 고온·호기법에 있어서 잉여오니의 발생이 극히 적은 이유와 악취물질의 태동

고온·호기법에 있어서 오니의 발생이 극히 적은 것에 대한 실증을 위해서 3개월 이상의 장기운전을 통한 반응조내 혼합물의 중량변화 및 탄소수지를 검토하였다. 제빵폐수를 약 3개월, 돈사폐수를 약 4개월, 혐기성 소화오니를 약 16개월 그리고 식당잔반을 약 7개월 장기간 운전한 결과 어떠한 조건의 반응물의 중량은 거의 변화가 없었다.

그리고 탄소수지와 수분 수지를 검토해 본 결과 투입된 탄소의 대부분이 이산화탄소로 전환하였고 투입된 수분은 전량 증발된 것을 알았다. 그 이유로서는 첫째, 고농도 유기배수중의 유기물은 분해가 극히 잘되는 물질이었다. 또한 무기물이 극히 적은 농도로 존재하며 고온·호기처리에 우점하는 세균의 자기분해속도가 극히 높다는 것을 들 수가 있다. 또한 악취물질은 혐기성소화를 통하여 환원된 유화물 인이 고온·호기반응조에서 <그림 12>의 형성기구에서 알 수 있듯이 습한 상태에서 산화 후 암모니아와 결합하여 비료성분인 황산암모늄(유안비료: (NH₄)₂SO₄)과 인산암모늄(인산비료: (NH₄)₃PO₄)을 형성한 것으로 사료되다(양재경, 1997b).

또한, 장기간 처리기간에 따른 무기물이 축적할 수 있기 때문에 담체의 일부를 정기적으로 교환함으로써 축적물을 제거하는 것이 좋다고 사료된다.



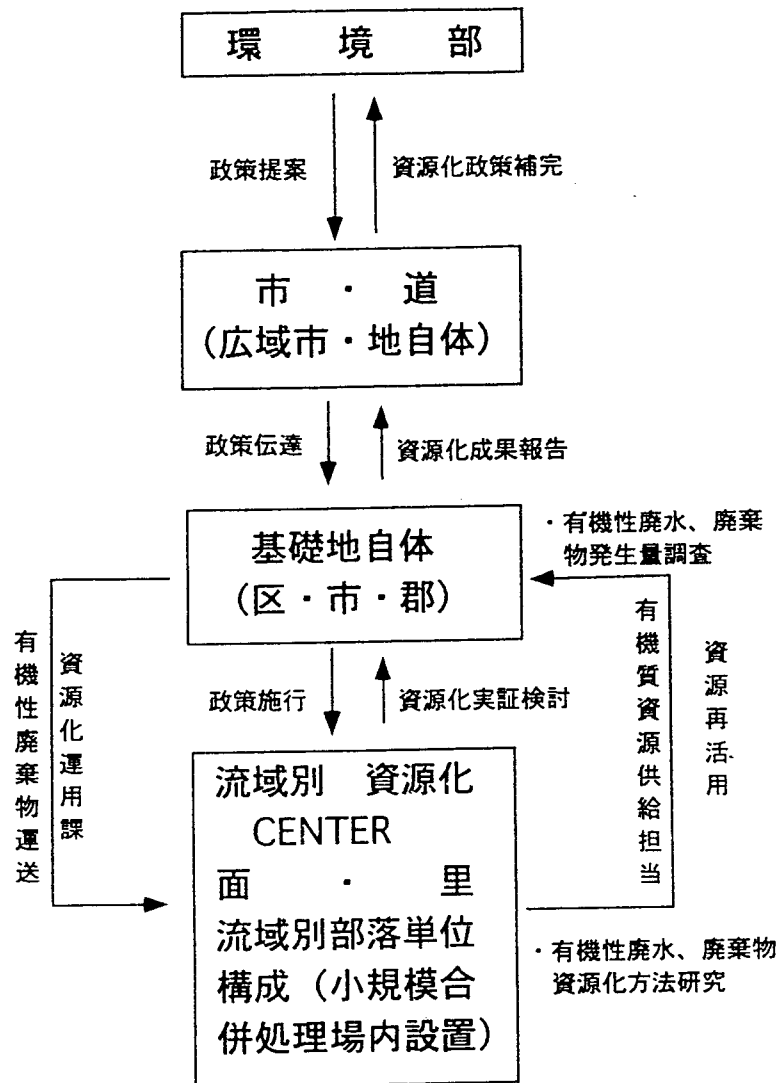
<그림 12> 高温·好氣프로세스에 의한 黄酸암모늄 및 磷酸암모늄의 生成機構

VI. 結論 및 政策提言

도시와 농촌에서 발생하는 고농도 유기성 폐수 및 폐기물을 경제적이며 효과적으로 처리하기 위해서는 서로 연계된 종합적 처리 및 자원화 시스템의 구축이 필요하다. 이는 각 지역에서 발생하는 유기물의 질과 양, 그리고 발생시기를 알아서, 특성이 각각 다른 유기물을 적절히 혼합하여 고품질 퇴비를 만들고, 퇴비가 필요하지 않는 시기에는 미생물에 의한 산화처리

로서 완전 분해를 행하여 유기물의 감량을 꾀하는 것이 중요하다.

이를 위해서는 사료화, 혐기성소화 및 고품질 퇴비화 그리고 고온·호기처리의 4가지의 프로세스로 구성되는 종합시스템이 필요하다. 고품질 퇴비화에는 형상 양질과 함께 종래의 퇴비에 가까운 퇴비를 만들 것과 토양의 개량효과 뿐만 아니라 퇴비성분이 안정하게 포함되어 있는 것이 중요하다. 고온·호기처리는 퇴비의 수요가 없는 농한기에는 유기물의 감량을 위한



〈그림 13〉 有機性廢棄物, 廢水의 資源化를 위한 行政的体系

분해법으로서 유용하게 이용할 수 있으며, 오니와 배수가 발생하지 않아 2차적 환경오염이 적은 것이 특징이다. 그러나 담체중에 축적된 중금속을 회수하는 연구도 고려되어야 하며 보다 경제적이거나, 안정적이고 환경친화적인 처리방법은 자원화 순위에 기초하여 결정되어야 할 것이다.

또한 <그림 13>에서 제안하고 있듯이 행정의 체계화가 이루어 져야한다. 우리나라의 경우 환경부의 총괄 지휘체계하에 각 시,도 지방자치체의 능동적인 활동을 기본으로 한 유역별 5~10개의 마을로 구성된 자원화 센터를 소규모 오수 및 정화조 합병처리장에 병행하여 설립하여 운영하는 것이 좋다고 사료된다. 자원화 센터에서의 역할은 유기성 폐수 및 폐기물 자원화의 시행과 자원화 방법을 연구하고, 인력으로서의 영농후계자의 육성에 의해 이루어질 수 있으며 기초 지자체에서는 유기성 폐기물의 경제적 수거대책 구상과 유기질 재생자원의 활용을 위한 수요처 조사를 시행할 것을 제안한다.

따라서 유기성 폐기물의 처리방법을 선택할 때에는 환경부와 이하 각 지방자치단체 및 농·어민과의 상호 협력과 능동적인 대처가 중요하며 모든 유용한 방법을 동원하되 가능하면 순차적으로 사료화, 연료화 그리고 퇴비화를 장려하고 마지막으로 이들의 방법으로 처분 불가능한 유기성 폐기물에 대해서만 소각을 고려해야만 된다. 즉 자원화 순위에 입각한 적극적인 정책적 차원의 시도가 필요하다.

감사의 글

본 연구에 있어 개념의 정립은 전 일본 시마네 대학 교수였던 모리 타다히로(森 忠洋) 박사님의 지도에 의해 이루어 졌습니다. 은혜에 감사를 드립니다.

參 考 文 獻

- 남송희, "혐기성 발효에 의한 유기성 폐기물의 바이오가스 발생장치(음식물, 채소류 폐기물을 이용한 메탄가스 발생장치)", 「한국 폐기물학회지」, 제 13권, 제 6호, 1996, pp. 243~248.
- 류옥강·채혜량·모리 다다히로, "고온 호기에 의한 돈분뇨의 완전처리", 「일본 토목공학회, 환경공학 연구논문집」, Vol. 31, 1994, pp. 209~214.
- 모리 타다히로, "유기폐기물의 녹농지이용의 새로운 전개(1) 유기폐기물 녹농지 이용을 위한 과제", 「용수와폐수」, Vol. 35, No. 10, 1993, pp.5~10.
- 모리 타다히로·양재경·채혜량, "미생물을 활용한 유기폐기물의 분해", 「식품기계」, Vol. 3, 1995, pp. 65~69.
- 모리 타다히로·채혜량·양재경, "도시와 촌을 연계한 유기물의 종합처리·자원화시스템의 정책", 「일본폐기물학회」, Vol. 6, No. 4, 1996, pp. 330~336.
- 양재경·시미즈 유키코·조경숙·모리 타다히로, "고온·호기법에 의한 고농도 유기배수처리에대한 C/W비의 중요성", 「일본수환경학회지」, Vol. 18, No. 7, 1995, pp. 583~588.
- 양재경·박응로·최경민·이성택·모리 타다히로, "고온·호기법에 의한 혐기성 소화슬러지의 처리에 있어서 유기성 폐기물의 혼합효과", 「한국 폐기물학회지」, 제 13권, 제 6호, 1996, pp. 259~267.
- 양재경·박응로·최경민·이성택·모리 타다히로, "고형물 가용화 촉진제로 아황산염을 이용한 2상 혐기성 소화조에서 폐식용유가 소화효율에 미치는 영향", 「대한 환경공학회」, 제 19권, 제 2호, 1997a, pp. 233~244.
- 양재경·박응로·최경민·이성택·모리 타다히로, "고온·호기법에 의한 혐기성 소화슬러지의 처리 특성", 「한국 폐기물학회」, 제 14권, 제 1호, 1997b, pp.54~65.
- 양재경·서용기·박응로·최경민·이성택·노다 슈우시,

“혐기성소화-고온·호기반응조에 의한 생 쓰레기의 완전처리와 바이오 열의 이용가능성검토”, 「일본폐기물학회 제 8회 추계학술발표」, 10월, 1997c.

이기영·이성택·양재경, “음식물 찌꺼기를 비롯한 유기성 폐기물의 발효 사료화”, 「한국 유기성 폐자 원학회, 1997년도 봄학술대회 및 정기총회 논문집」, pp. 83~95, 1997.

이상훈·정재춘·이성택, “생활 쓰레기 처리바업의 경제적 분석 및 최적 처리량 결정-경기도 중심으로-”, 「환경정책」, 제 4권, 제 1호, 1996, pp. 109~124.

조 경숙, “고농도 유기성 폐수처리를 위한 고온·호기법에서의 미생물상의 특성”, 「대한 환경공학 회」, 제 17권, 제 12호, 1995, pp.1119~1209.

Huiliangn Cai and Tadahiro mori, “Production

of High Quality Compost from Sewage Proceeding of Management of Water and Waste Water Solids for the 21st century”, *A Global Perspective Specialty Conference of the Waterenvironment Federation*, 1994, pp. 10~51.

Liu Bao Gang, Shuji Noda and Tadahiro Mori, “Complete Decomposition of Organic matter in high BOD wastewater by Thermophilic Oxidic Process”, *Pro. of Environmental Engineering Research*, Vol. 29, 1992, pp. 77~84.

Liu Bao Gang and Tadahiro Mori, “Complete Treatment of Shouchu Processed Wastewater by Thermophilic Oxidic Process”, *Pro. of Environmental Engineering Research*, Vol. 30, 1993, pp. 165~174.