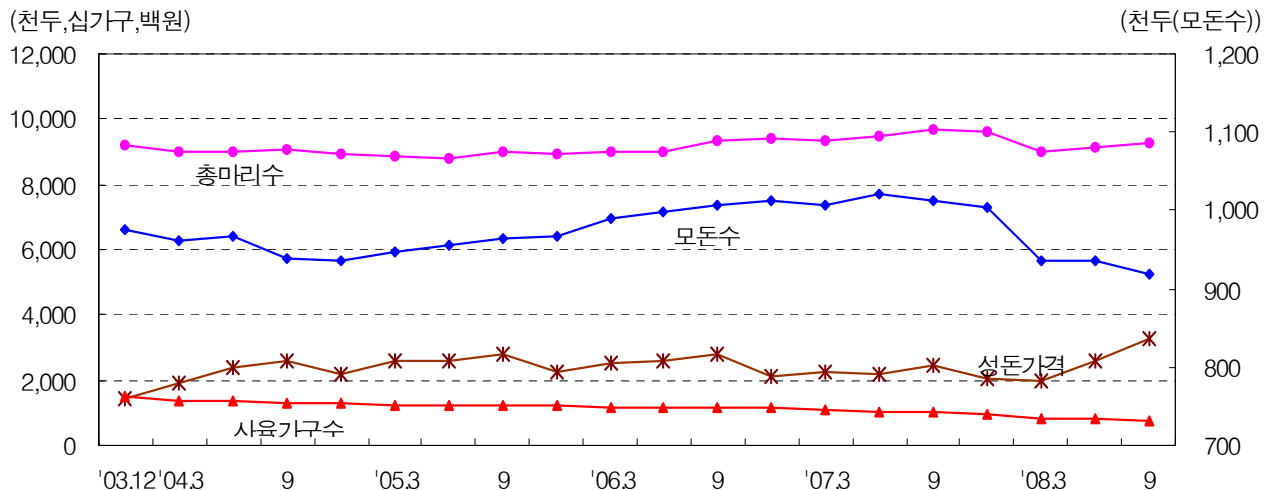


생산비절감을 위한 친환경 분뇨처리기술

국립축산과학원 축산환경과

정광화

국내 축산업은 지난세기 말부터 양적, 질적 측면에서 급격한 발전을 이루어왔다. 농업생산액 측면에서도 축산은 농업분야 전체에서 산출되는 소득의 1/3을 차지할 만큼 중요도가 높은 산업으로 발전하였다. 이러한 변화과정 속에서 국내 축산농가는 전업화규모 형태로 꾸준히 전환되어져왔고 최근까지도 농가별 양축규모 확대추세가 지속되어지고 있어서 양축분야에도 규모의경제화가 본격적으로 도입되어지고 있다. 이러한 축산농가의 전업화 형태는 가축능력의 개량과 축산물의 품질개선, 농가운영기술 발전 등의 긍정적 효과를 가져온 반면에 사육규모의 대형화는 한정된 지역에서 다량의 가축분뇨가 발생하게 된다는 것을 의미하고, 심지어는 해당지역에서 수용할 수 있는 가축분뇨 처리능력 한계를 초과하는 상황까지 초래할 수 있는 문제점을 내포하게 되었다. 특히 물 사용량이 많고 배합사료위주의 운영형태를 가진 양돈농가의 경우는 분뇨처리 문제가 농장주의 주요 관심사로 부각된 지 오래 되었다



<그림 1> 돼지 사육동향 및 성돈가격 변동추이(자료출처:통계청 '08.9월 가축통계)

농가에서의 가축분뇨처리 문제는 기술적으로는 질병관리나 사양관리문제와 더불어 농장관리자의

주요 고려사항이 되었고, 경제적으로도 사료비, 인건비와 함께 농가의 주요한 비용지출 분야로 자리하고 있다. 주요 가축 분뇨 중에서도 돼지분뇨는 처리가 어려운 경우에 해당한다. 소나 닭의 경우에는 분뇨의 형태나 축사의 형태가 분뇨를 처리하는데 비교적 용이하지만 양돈분뇨, 그중에서도 슬러리분뇨는 수분과 질소, 인, SS와 BOD 유발물질 등이 높은 농도로 함유되어 있고, 분뇨발생량 자체도 많은 관계로 인하여 적정처리에 많은 애로를 겪게 된다. 양돈농가차원에서 적용할 수 있는 분뇨처리기술은 수거, 처리, 이용의 세 단계로 요약되어진다. 이 중 생산비절감을 위해서 분뇨처리비용을 줄이는 단계로서는 수거와 처리가 해당되고 다음으로 친환경 분뇨처리 측면에서는 처리와 이용단계가 해당된다. 이 단원에서는 양돈분뇨처리문제와 각 분뇨처리 단계별 세부적용 방법에 대해서 논의토록 하겠다.

I. 분뇨수거

수거는 가축분뇨처리의 시작단계이다. 수거방법은 인력수거와 스크레퍼식 수거, 슬러리식 수거방법으로 대별된다. 인력수거는 수거 후 분뇨처리는 비교적 용이한 편이나 인력소요가 크다는 문제점이 있고 대형화 축사일 경우 적용하기가 어렵다. 스크레퍼식 수거는 가축분뇨처리 용이성 측면에서 인력돈사와 슬러리돈사의 중간정도에 해당한다. 스크레퍼식 수거방법의 경우 스크레퍼 장치의 관리가 적절하게 수행되어야 하며, 수거가 적절하지 못할 경우 고액분리 및 후속처리공정이 오히려 곤란하게 되는 상태로 분뇨가 수거되는 경우도 발생한다. 슬러리돈사의 경우는 인력절감 차원에서 유리한 점이 있어서 슬러리식 수거방법은 규모가 큰 농장을 비롯한 많은 수의 농장에서 선호되어지는 방법이다. 하지만 슬러리형태의 분뇨는 수분함량이 높아서 후속처리공정에서 적절한 처리과정을 필요로 한다. 어떠한 형태로 분뇨가 수거되어진다 하더라도 분뇨처리 측면에서 고려하면 본격적인 분뇨처리 첫 단계에인 고액분리가 이루어지기 쉬워야 한다. 농가가 퇴비화를 하든지 액비화, 정화를 하든지 간에 그 농가의 분뇨처리 효율측면에서 고액의 분리는 필수적이기 때문이다.

1. 가축분뇨의 특성

돼지가 배설하는 분뇨는 섭취한 사료 중 소화되지 않은 물질과 대사과정에서 생성된 물질 등으로 구성된다. 돼지사료는 곡류, 식물성 박류, 동물성 단백질, 기타 첨가제 등의 유기성과 무기성 재료 등으로 이루어져 있다. 따라서 돼지분뇨는 사료에서 기인하는 고형 성분과 식수 또는 사료 그리고 대사수로부터 기인하는 수분으로 구성되어진다. 이를 다시 세분화 하면 고형성분은 유기물질과 무기물질로 구성되어 있고 수분은 자유수, 간극수, 간극모관수, 표면부착수, 결합수 등의 형태로 존재한다. 가축분뇨의 발생량과 분뇨의 조성분은 가축의 종류와 연령 및 체중, 사료의 종류 및 외부 환경요인에 영향을 많이 받는다. 아래 그림은 가축분뇨 중에 포함되어 있는 물질의 양태를 나타낸 모식도이다.



가축분뇨는 질소와 인 그리고 부유성 고형물 등의 함량이 높고 취기가 강한 특성을 지니고 있어서 산업폐수, 생활폐수 등과 더불어 대표적인 오염가능 물질로 인식되어지고 있다. 가축분뇨 중에 함유된 질소와 인이 처리되지 않은 상태로 토양 및 수계로 직접 유입될 경우 지하수질이나 지표수질 그리고 토질에 좋지 않은 영향을 줄 수 있는 것이 사실이지만 이 가축분뇨를 적절하게 처리하여 경작지에 환원한다면 토양을 개량하고 작물 생산성을 높일 수 있는 유용한 비료자원으로 재활용할 수 있다는 긍정적 측면이 있다.



부영양로 인한 녹조



어패류 피해



퇴비이용 작물생산

<그림 3> 가축분뇨의 이용형태별 차이

가축분뇨는 2006년에 4,391만톤이 발생하였고 사육두수를 감안하여 계산하면 2007년도에는 그 발생량이 4,539만톤 정도로 추산된다. 발생한 가축분뇨 중 85% 정도가 유기성 비료자원으로 재활용되어지고 나머지 15%가 정화처리 또는 해양에 배출하는 방법으로 처리되어 왔다. 그 중의 42.1%에 달하는 약 1,850여 만톤 정도가 양돈분야에서 발생되었고 소와 말 등 대가축 사양분야에서는 전체 발생량의 42.3%인 1,900 여만톤, 기타 가축 사양 농가에서 나머지 15.6%인 760여만톤이 발생하였다. 가축분뇨발생량은 해를 거듭할 수록 늘어가는 추세에 있는데('04년 4,117만톤 → '06년 4,391만톤) 설상가상으로 2012년부터는 해양배출방법까지 이용할 수 없게 될 처지(해양배출 물량 : ('08) 170만톤 → ('09) 120 → ('10) 70 → ('11) 20만톤)가 됨으로써 그 동안 해양배출에 의존해왔던 양돈분뇨 물량도 퇴비나 액비형태의 자원으로서 경지에 시비될 것이다.

II. 분뇨 처리

친환경 분뇨처리 함은 말 그대로 주위환경에 부정적인 영양을 주지 않는 상태에서 분뇨를 적절하게 처리하고 이용하는 방법이라 하겠다. 친환경적 분뇨처리를 위해서는 농가가 적절한 분뇨처리시설을 설치하고 운영하는데부터 시작한다. 국내 양돈농가에서 주로 운영하는 분뇨처리는 크게 세 가지로 구분할 수 있다. 현재 가장 널리 이용되어지고 있는 방법은 퇴비화이다. 양돈농가가 어떠한 형태의 분뇨수거방법과 처리방법을 활용하고 있다 하더라도 크든 작든 퇴비화 방법은 반드시 이용되어진다. 액비화와 정화처리에 있어서도 사전에 고액분리 단계가 들어가고 여기서 분리된 고형물은 퇴비화 방법을 이용

하여 처리되기 때문이다. 최근 들어 이 고형물을 연료 또는 다른 산업자원의 원료로 이용하고자 하는 시도가 일부에서 이루어지고 있기는 하지만 아직까지는 퇴비화에 의한 자연순환이 대세라 하겠다.

가축분뇨의 액비화 역시 유기성 비료자원으로서 양돈분뇨를 활용하는 방법으로서 많은 농가가 활용하고 있는 방법이다. 액비화에 대해서 일반농가들이 쉽게 접근할 수 있으며 관리 및 이용측면에서 어려움이 크지 않을 것으로 생각하기 쉽지만 액비화방법을 실제로 이용하는데 있어서 고려해야 할 요소가 많다.

정화처리방법은 그 동안 대규모 농가에서 활용하는 방법으로 인식되어 왔지만 최근 들어서는 2~3천두 농가에서도 운영할 수 있는 방법들이 개발되어있고 처리비용도 타 방법에 비해 크게 부담되지 않으므로 주변에 퇴·액비 시용요건이 형성되어 있지 않거나 단지 형태를 이루고 있는 소규모 농가들의 경우에 활용이 가능한 방법이다.

분뇨처리의 기타방법으로 사용되어지고 있는 가스나 고형상태로서의 연료화, 타 산업의 원료로서의 활용방법들은 아직 농가가 적용하기에는 선결과제들이 남아 있으므로 추후에 논의토록 하겠다.

1. 가축분의 퇴비화

2007년 5월에 제정된 가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률에서는 “퇴비라 함은 가축분뇨를 발효시켜 만든 비료성분이 있는 물질 중 액비를 제외한 물질로서 농림부령이 정하는 기준에 적합한 것을 말한다.” 라고 퇴비라는 용어에 대해 명확히 규정하고 있다. 현재 우리나라 양돈분뇨처리의 근간을 이루는 방법으로 가장 쉽게 접근할 수 있으면서도 기술적으로 고려해야할 사항이 많기도 한 방법이다. 양돈농가가 주로 이용할 수 있는 퇴비화방법에는 단순퇴적식 퇴비화 방법과 퇴적송풍식 퇴비화방법 그리고 기계교반식 퇴비화 방법 등이 있다.

농가규모가 작은 편에 속한다면 단순퇴적식 퇴비화 방법을 이용해도 분뇨처리가 가능하다. 퇴비화 방법 중 비용이 가장 적게 소요되고 관리도 용이한 방법이다. 톱밥 등의 수분조절재와 분뇨를 혼합하여 퇴적하고 스킵로더나 포크레인 등을 이용하여 자주 뒤집어 주는 방법이다. 뒤집어주는 과정에서 톱밥사이의 공극 중에 공기가 함유되고 이 공기 중의 산소를 퇴비화미생물이 활용하여 분뇨중의 유기물을 분해하여 안정화 시킨다. 공극

중에 함유된 산소량이 소량이므로 뒤집기를 한 후에도 퇴비단 내의 산소는 짧은 시간 내에 소모된다. 따라서 미생물의 유기물 분해활동이 활발한 퇴비화 초기나 분뇨 투입량이 많은 경우에는 뒤집기를 농가사정이 허락하는 대로 가급적 자주해주는 것이 좋다.

농가규모가 중규모 이상에 해당한다면 퇴적식 퇴비화방법을 기본으로 하고 여기에 원활한 공기공급방법을 강구하는 것이 좋다. 퇴비단 내에 산소가 부족하면 발효가 더디게 일어나게 되므로 퇴비더미 내에 충분한 공기가 함유되도록 하는 것이 퇴비의 품질과 퇴비장 공간 활용에 더 효과적이다. 아래의 사진은 가축분을 대상으로 하여 바닥부분에 송풍을 실시하여 호기적 조건을 조성해준 경우와 그렇지 않은 조건하에서 퇴비화를 실시했을 때의 단면 모습의 차이를 보여주는 모습이다.



송풍을 실시한 가축분 퇴비단 송풍을 하지 않은 가축분 퇴비단

<그림 4> 공기공급여부에 따른 퇴비화 차이

그림에서 보여지듯이 동일한 재료를 대상으로 하여 같은 기간동안 퇴비화를 실시하였을 때 송풍을 해준 경우의 퇴비단은 퇴비화가 많이 진행되어 작물이 흡수하는 형태의 무기성분 함량이 높아진 반면에 송풍을 실시하지 않은 퇴비단은 내부의 가축분은 발효되지 않고 그대로 남아 있으며 높은 농도의 암모니아를 포함한 수증기가 발생하고 있다.

가. 가축분뇨 퇴비화 기술

분뇨 퇴비화시 기술적으로 유의해야할 사항은 다음과 같다.

1) 퇴비화 필요조건

퇴비화시 갖추어야 할 필요조건으로는 영양소 및 그 비율, 수분, 산소, 기타요소(입자의 적정 크기 : 0.65~2.54cm, pH : 5.5~8.5, 공극 : 공극율 30% 정도, 퇴적 높이 : 60~200cm) 등이 있다.

가) 영양소

퇴비화에서 말하는 영양소 함량이란 주로 탄소와 인을 의미한다. 퇴비화시 유기물 중의 C/N율(탄소/질소비율)을 35 전후로 조절하는 것이 좋다. 퇴비화에서 가축분 중에 함유된 탄소는 퇴비화 미생물의 영양원(에너지원)으로 이용되어진다. 퇴비화 관련 미생물의 대다수가 종속영양미생물에 해당하므로 퇴비단 내의 탄소함량은 미생물의 활동 및 성장에 연관되어진다. 질소의 경우 미생물의 체구성 요소로 이용되어진다. 질소가 부족하게 되면 미생물 형성에 부정적인 영향을 미치고 반대로 질소가 과다하게 많으면 여분의 질소가 암모니아를 형성하여 악취발생의 주요원인이 되기도 한다.

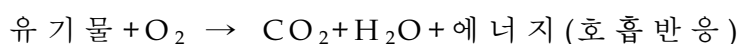
나) 수분

퇴비화관련 미생물의 활력과 연관되어지는 요소로서 퇴비단의 수분함량은 60~65% 수준이 적당하다. 퇴비더미내 수분함량이 70%이상으로 과다하게 높으면 퇴비단 내의 공극이 수분으로 채워지기 시작함으로써 공기의 이동 차단하는 문제가 유발된다. 수분함량정도는 퇴비화시 수분조절재 혼합량과 연관되는데 수분함량 측정 역시 현장에서 알기 어려우므로 혼합물을 손에 쥐어서 펼쳤을 때 손가락 사이로 물이 흘러 내리지 않고 뭉쳐진 상태가 유지될 정도면 무난하다. 수분과 공극형성조절이 가능한 범위 내에서 수분조절재의 사용량을 줄인다(퇴비의 영양소 함유량과 관련됨), 기존의 부숙퇴비에는 발효관련 미생물이 포함되어 있으므로 신규로 투입된 분뇨와 혼합시 축분의 부숙촉진에 도움이 된다. 퇴비화관련 미생물의 활력과 연관되어지는 요소로서 퇴비단의 수분함량은 60~65%수준이 적당하다.

다) 산소

퇴비단 내에 산소농도는 12~13% 정도내외로 유지되어야 하는데 산소농도는 산소측정기가 없으면 알기 어려우므로 송풍시설 설치시 권고된 송풍량을 유지토록 한다.

호기적 상태에서의 유기물 분해는 아래의 3가지로 구분된다.



유기물 + O₂ → NH₃ + 미생물 + CO₂ + H₂O + 에너지 (합성 반응)

세포물질 + O₂ → CO₂ + H₂O + 에너지 (자기산화 반응)

혐기적 처리방법에서 유기물이 분해되는 과정은 아래와 같다

유기물 + 미생물 → 세포, 유기산 + 미생물 → 세포, 메탄(CH₄)

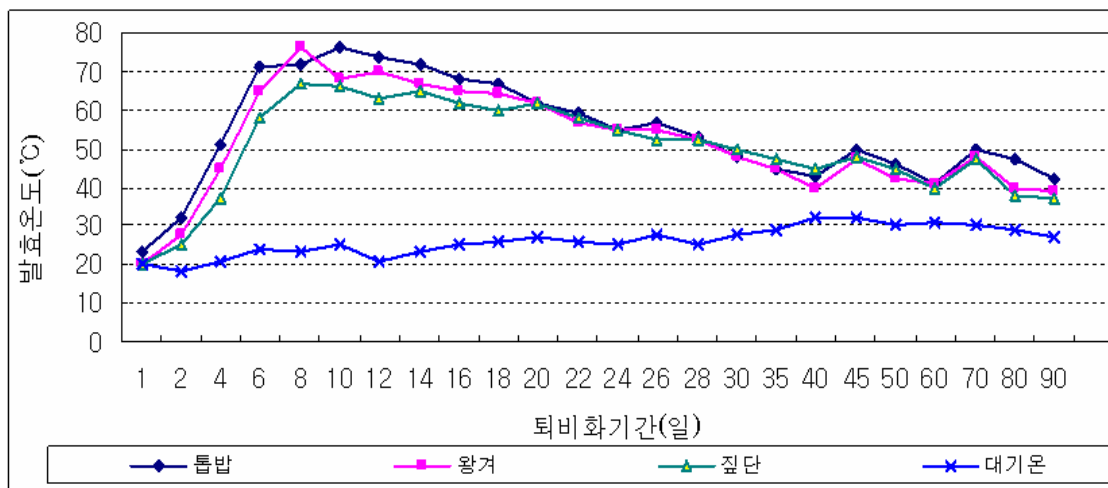
(산생성균) 알콜, CO₂ (메탄생성균) CO₂, NH₃

H₂, NH₃

H₂S

라) 온도

병원성미생물 및 잡초종자의 사멸 등 퇴비의 중요한 품질을 얻기 위해서는 적어도 55℃ 이상의 상태가 3~5일 이상 지속되는 것이 좋다. 아래의 그림은 우분을 원료로 한 퇴비화과정 중의 온도변화를 나타낸 것이다.



<그림 5> 퇴비화에 따른 온도 변화

2) 퇴비화 시설의 설계 및 운영

가) 시설 설계시 고려사항

- 농장 규모 및 배출되는 가축분뇨의 특성
- 톱밥 등 수분조절재 확보용이성 여부
- 생산된 퇴비의 처분 및 경종농가와의 협력체계
- 지역특성에 따른 규제 여부
- 시설의 형태 및 규모
- 기후, 지형 등 지역적 특수성
- 인근 주민과의 관계 등

나) 퇴비화시설 및 기계의 선정

- 선정 시 유의사항
- 농장여건 적합성과 기능 및 성능
- 사후봉사 여부와 부품조달 용이성 여부
- 내구성 및 가격
- 운전의 용이성 등



다) 가축분 자원화시설의 용량

분뇨분리 축사 100m²당 사육두수 및 분 발생량

구 분	사 육 두 수	두당 배출량	분 발 생 량	분 합 수 율(%)
젖 소	8.3두/100m ²	19.7kg/일 · 두	163.5kg/일	82.3
한 우	8.3두/100m ²	8.1kg/일 · 두	67.2kg/일	78.4
돼 지	71.4두/100m ²	1.3kg/일 · 두	92.8kg/일	73.9
닭	1,000수	0.14kg/일 · 수	140.0kg/일	74.9

* 두당 분 배출량 : 고액분리 축사기준

- 퇴적식 퇴비사 유효용적 : 15m³이상/축사100m²
- 유효 깊이 : 2m 이상.

- 축분은 사방에서 투입할 수 있는 지하구조로 하고 장비의 출입이 용이하도록 입구 쪽의 바닥에 1 : 1.2의 구배를 준다.

(저장조 용량은 두당 2m³ 정도 확보)

○ 송풍식 퇴비사 용적

- 발효조의 유효용량 : 한우 3m³이상/100m².
- 퇴적장 유효용량 : 발효조의 3배 이상
- 발효조 유효깊이 : 2m이상
- 발효조의 바닥송풍량 : 0.2m³/분m²이상

(저장조 용량은 두당 2m³ 정도 확보)

○ 기계식 퇴비사 용적

- 저장조 유효용량 : 2m³/100m²이상(한우)
- 발효조 용량 : 축사 100m²(닭 1,000수)당

구 분	젓 소	한 우	돼 지	닭
직선형(에스컬레이터식)	15m ³ 이상	6m ³ 이상	7m ³ 이상	11m ³ 이상
직선형(로타리식)	15m ³ 이상	6m ³ 이상	7m ³ 이상	11m ³ 이상
순환형(로타리식)	38m ³ 이상	12m ³ 이상	10m ³ 이상	17m ³ 이상

- 발효조 유효깊이 : 1.3m이상
- 발효조 바닥 송풍시설 설치 : 공기 0.2m³/분m²이상
- 퇴적장 유효용량 : 발효조의 유효용량 이상 설치
- 기타 요건 : 농장의 특성 및 시설의 종류에 따라 선정

라) 수분 조절재의 이용

- 수분조절재로 사용되는 톱밥은 탄소함량이 과도하게 높기 때문에 발효조건 한도 내

에서 최소량을 사용토록 하는 것이 퇴비화효율 및 비용측면에서 유리하다.

○ 수분조절재 이용의 주 목적

- 수분함량 조절(65% 내외)
- 공극 형성
- 탄질비 조절 등

○ 수분조절재 소요량 계산

$$\text{소요량(kg)} = \text{분뇨량(kg)} \times \frac{\text{분뇨 수분함량(\%)} - \text{목표수분(65\%)}}{\text{목표수분(65\%)} - \text{수분조절재 수분(\%)}}$$

퇴비사 현장에서 수분조절재를 실제로 이용하는 경우에는 각각의 수분조절재별 용적당 중량을 파악하여 부피 단위로 쉽게 되는 경우가 많음.



2. 가축분뇨 액비화

“액비”라 함은 가축분뇨를 액체상으로 발효시켜 만든 비료성분이 있는 물질로서 농림부령이 정하는 기준에 적합한 것을 말한다. 액비화는 가축분뇨 중의 유기물을 무기화(안정화)시켜주는 과정의 일종으로서 축분뇨를 발효시킬 장소에 저장하고 발효관련 미생물의 활력을 증가시켜주는 폭기방법 등을 이용하여 분뇨 중의 유기물을 발효시켜 액체성 비료로 이용하는 방법이다.

관리 및 노동력 측면에서 퇴비화보다 쉽다고 생각되지만 액비화 역시 고려요소들이 많다. '08년도 농림사업시행지침에는 액비화저장조시설 설치시 악취제거 병원균사멸 등을 위해 고온호기성 방법으로 유도하고 우선 지원한다. 라고 명시되어 있으므로 액비저장조 설치시 이 사항을 유의해야 한다. 지난해에 발효된 “가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률”에 언급된 액비화시설 관련규정을 보면 “액비화시설에는 축사에서 발생한 가축분뇨를 6개월 이상 저장할 수 있는 저장조를 설치하여야 한다. 다만, 교반장치가 설치되지 아니한 저장조를 설치하는 경우에는 저장조를 2단으로 설치하여 가축분뇨가 1단계 저장조를 거쳐 2단계 저장조로 유입되도록 하여야 하며, 1단계 저장조는 가축분뇨를 6개월 이상, 2단계 저장조는 가축분뇨를 1개월 이상 저장할 수 있는 용량이어야 한다” 라고 명시되어 있어 아직까지는 살포계획 대비 저장기간을 고려하여야 한다.

가. 액비화 관련 유의사항

1) 공기공급 : 호기적 상태에서 유기물의 부숙속도가 훨씬 빠르고 살포시 악취발생도 감소되므로 호기발효를 수행하는 것이 유리하다.

가) 폭기시 바람의 방향과 인근 주거지역의 위치를 고려한다.

나) 액비저장조에 유입되기 전에 고액분리를 거치면 액비의 제조기간 단축 및 액비품질 향상에 도움이 되므로 고액분리를 반드시 거치도록 하는 것이 좋다.

2) 액비저장조 관리 : 액비 저장조 바닥에 침전물이 쌓이거나 액비저장조 주변시설들이 부식되는 것을 방지한다.(설비 보수비용 절감)

가) 액비저장조 바닥에 침전물이 쌓이면 저장용량감소 및 부숙방해, 악취발생의 원인이 되므로 액비저장조 관리에 유의하며, 침전물 제거작업 시에는 침전물에서 발생하는 유해가스에 노출되어 질식할 우려가 있으므로 전문업체에 의뢰하는 것이 좋다.

나) 축분에서 발생하는 황화수소중의 황성분이 물과 결합하여 부식성을 갖는 황산을 형성함으로써 철제 구조물의 수명을 단축시킬 수 있다.

나. 액비 부숙방법

1) 호기적 방법

액비저장조에 저장된 액비 중으로 공기를 공급하여 주면서 부숙시키는 방법이다. 폭기 장치의 주요 구성품인 산기관은 일반적으로 액비저장조 하단부에 여러 개가 설치된다. 부숙기간이 혐기성 방법에 비해 단축된다는 장점이 있지만 폭기시 악취취취의 문제가 발생할 수 있다.

2) 혐기적 방법

액비저장조중에 인위적인 공기공급을 하지 않고 자연적인 상태에서 액비가 부숙되도록 하는방법이다. 액비 중에 존재하는 혐기성균 또는 통성균의 활동으로 유기물을 분해 안정화 시키는 방법으로서 호기성 방법에 비해 부숙 기간이오래 걸린다는 단점이 있다. 폭기 장치가 없어 시설이 간단한 반면에 동일한 양의 분뇨를 처리하는데 더 큰 시설용적이 필요하다.

3. 가축 분뇨정화

정화(淨化)처리란 처리대상(물, 토양, 공기 등)중에 함유되어진 오염성물질을 줄이거나 제거하여 처리대상물을 원래의 상태로 되돌리기 위한 일련의 처리과정을 말한다. 가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률에는 정화시설이라 함은 가축분뇨를 침전·분해 등 환경부령이 정하는 방법에 따라 처리하는 시설이라고 명기되어 있고 환경부령에서는 정화방법을 호기성 생물학적 방법, 혐기성 또는 혐기성 생물학적 방법, 물리·화학적 방법, 상기 3가지 방법을 조합한 방법 등으로 규정하고 있다. 각 농가가 선택할 수 있는 정화처리 방법은 정화처리 대상물질의 특성이나 처리장 설치와 관련된 지리적 조건 및 기후, 사회적, 경제적, 기술적 요인 등 다양한 요소를 종합하여 판단한 후 처리장의 크기나 정화처리 형태 등을 결정하여야 한다. 축산분뇨오수를 정화처리 하는 과정을 대별하면

첫째, 분뇨에 포함된 오염성 물질 중 비교적 분리가 용이한 조대성 물질을 스크리닝, 고액분리 등 주로 물리적인 방법에 의해 제거하는 1차 처리 방법.

둘째, 물리적, 화학적, 생물학적 처리를 거친 후 분뇨중의 유기물 덩어리를 반응조 바닥으로 침전시켜 제거하는 2차 처리방법.

셋째, 1차 2차 처리과정에서 제거되지 않은 염류와 잔류 오염물질을 물리, 전기, 생화학적 방법을 활용하여 감소시키는 3차 처리(고도처리) 등으로 구분할 수 있다.

가. 정화처리 공정

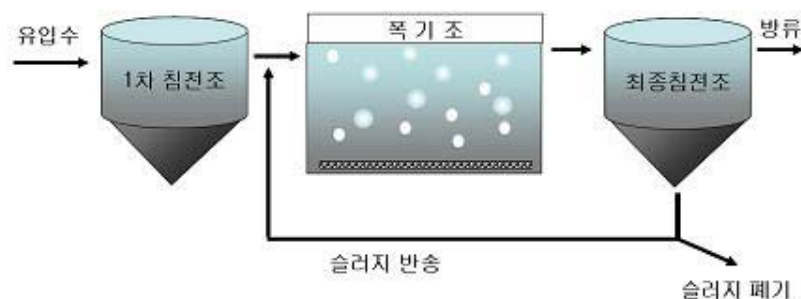
축산 분뇨, 오수에 함유된 오염성 물질들의 많은 부분이 생물학적으로 분해가 가능하기 때문에 축산 분뇨, 오수를 대상으로 한 정화처리는 생물학적 처리과정이 주를 이루게 되며, 이 생물학적 처리효율을 높이기 위하여 물리, 화학적 처리과정이 추가되어진다. 생물학적 처리공정이란 축산 분뇨, 오수 중에 포함되어 있는 탄소화합물, 질소, 인 등의 오염성 물질을 미생물이 섭취하게하고서, 이들 미생물이 작은 덩어리 형태로 뭉쳐서 반응조 바닥으로 침전되어 생성된 슬러지를 반응조 외부로 제거함으로써 분뇨중의 오염성 물질을 제거하여 정화하는 공정이다. 생물학적 처리에 의한 정화공정은 혐기조, 무산소조, 폭기조 등으로 구성되어지는 몇 개의 반응조에서 이루어진다. 각 공정의 특성에 따라 혐기조나 무산소조는 생물학적 처리공정에서는 선택사항으로서 공정의 종류에 따라 설치되어지거나 생략되어지기도 하는 반면에 공기를 인위적으로 불어 넣어주는 폭기조는 반드시

포함되어진다. 이는 폭기조에서 탄소성물질, 질소, 인 등의 오염성물질의 처리가 이루어지기 때문이다. 폭기조에서는 주로 호기성 미생물에 의한 유기물의 섭취(종속영양 미생물), 질산화(독립영양 미생물), 혐기조에서 용출되었던 인을 호기적 조건에서 과잉섭취 하는 과정 등이 이루어짐으로써 분뇨중에 함유되어 있던 오염성물질의 감소가 이루어지게 된다. 정화처리공정에서 이용되는 처리시설을 구분하면 다음과 같다

1) 물리적 처리시설 : 스크린, 분쇄기, 침사시설, 유수분리시설, 유량조절시설, 혼합시설, 응집시설, 침전시설, 부상시설, 여과시설, 탈수시설, 건조시설, 증류시설, 농축시설 등이 있다. 물리적 처리는 주로 고액분리 목적으로 사용되며 다른 방법에 비하면 저렴하게 운영되지만 제거 가능한 물질에 한계가 있고 효율이 낮은 편이다.

2) 화학적 처리시설로서는 중화시설, 흡착시설, 살균시설, 이온교환시설, 소각시설, 산화시설, 환원시설, 침전물 개량시설 등이 있다. 화학적 방법은 용해성 유기물질과 무기물질의 제거에 유용하지만 화학약품 사용에 따른 슬러지 발생문제가 있고 운영비도 비싼 편이다. 화학적 방법은 인의 제거에 유용하게 활용되어진다.

3) 생물학적 처리시설로서는 살수여과상, 폭기시설, 산화시설(산화조 또는 산화지), 혐기성, 호기성소화시설, 접촉조, 안정조, 돈사톱밥발효시설 등이 있다. 생물학적 방법은 미생물(주로 박테리아)이 처리대상 유기물을 에너지원이나 세포증식을 위한 영양원으로 이용하여 함으로써 슬러리중의 오염물질을 제거하는 방법이다. 생물학적 방법은 호기성 세균의 유기물 분해활동을 이용하는 호기성 처리방법과 혐기성세균의 유기물분해에 의존하는 혐기성 처리방법으로 구분되어진다. 통상적으로 운용되어지는 전통적인 정화처리방법의 형태는 아래의 그림과 같다.



<그림 6> 정화처리 공정 모식도

생물학적 방법은 미생물(주로 박테리아)이 처리대상 유기물을 에너지원이나 세포증식을 위한 영양원으로 이용하게 함으로써 슬러리중의 오염물질을 제거하는 방법이다. 생물학적 방법은 호기성 세균의 유기물 분해활동을 이용하는 호기성 처리방법과 혐기성세균의 유기물분해에 의존하는 혐기성 처리방법으로 구분되어진다.

가) 호기성 세균은 수중에 용존산소가 없으면 성장에 저해를 받으며 일부 호기성균은 용존산소가 없으면 전혀 성장하지 못하는 경우도 있다. 호기성처리방법의 대표적인 예로는 활성오니법을 들 수 있다.

호기적 상태에서의 유기물 분해는 아래의 3가지로 구분된다.

유기물+O₂ → CO₂+H₂O+에너지(호흡반응)

유기물+O₂ → NH₃+미생물(MLSS)+CO₂+H₂O+에너지(합성반응)

세포물질+O₂ → CO₂+H₂O+에너지(자기산화반응)

나) 혐기성 처리방법은 용존산소가 없는 상태에서 성장하는 혐기성 세균을 이용하여 유기물을 분해하는 방법으로서 혐기소화법이나 혐기산화치 등을 예로 들 수 있다. 혐기성 처리방법은 호기적 방법에 비해 고농도의 유기물을 처리할 수 있고 슬러지 발생량이 상대적으로 적으며 유용한 메탄 가스를 얻을 수 있으나 운영이 까다로운 단점이 있다.

혐기적 처리방법에서 유기물이 분해되는 과정은 아래와 같다

유기물 + 미생물 → 세포, 유기산 + 미생물 → 세포, 메탄(CH₄)

(산생성균) 알콜, CO₂ (메탄생성균) CO₂, NH₃

H₂, NH₃

H₂S

정화처리시설의 형태에 따라 각 공정별 특징은 구분하면 다음과 같다

2) 물리적 처리

가) 스크린 : 정화처리 시설의 전 단계에 위치하며 유입수중에 혼합된 헝잡물을 걸러내는 역할을 하는시설.

나) 유량조절시설(집수조) : 활성오니조로 유입되는 처리수의 양을 일정하게 조절하기 위한 시설.

다) 혼합시설 : 분뇨슬러리 중에 포함된 오염물질과 응집제가 서로 잘 반응하여 침전성이 좋은 플록(덩어리)을 생성하도록 슬러리를 저어서 섞어주는 역할을 하는 시설.

라) 응집시설 : 폐수 중의 작은 물질들을 서로 엉겨 붙게 하여 미립자의 크기를 증대시켜 침강속도를 빠르게 함으로써 폐수처리효율을 개선토록 하는 시설.

마) 침전시설 : 응집 또는 생물학적 처리에 의해 만들어진 플록이 중력에 의해 바닥으로 가라앉도록 하는 시설.

바) 부상시설 : 침전과는 반대작용으로서 분뇨슬러리 중에 함유된 입자에 미세한 기포가 부착됨으로써 입자의 비중이 감소하고 부력이 증가되어 입자성 오염물질을 떠오르도록 한 뒤 분리, 제거하는 시설.

사) 여과시설 : 탱크 내에 자갈이나 모래, 활성탄, 기타 자연적 또는 인공적 여재를 충전 하여놓고 폐수를 이들 층에 통과시킴으로써 폐수중의 이물질이나 부유물, 미생물, 탁도, 색도성분, 기타 미세물질을 걸름작용이나 흡착에 의해 제거하는 시설

2) 화학적 처리

가) 중화시설 : 처리대상수의 pH를 조정하여 응집, 산화, 환원반응 등이 용이하게 이루어지도록 하는 시설. 중화는 pH를 7로 맞추는 것보다 넓은 의미에서 볼 때 pH를 필요한 수준으로 조절한다는 의미를 갖는다.

나) 흡착시설 : 물리, 화학적 처리기전으로서 처리수 중의 오염성물질 또는 분자가 흡착용 물질의 표면이나 공극에 달라붙도록 하는 시설.

다) 살균시설 : 처리수 중의 유해미생물을 제거하는 시설. 살균이란 유해미생물을 선택적으로 제거하는 것으로서 모든 미생물을 다 죽이는 멸균과는 구분되어 사용된다.

라) 이온교환시설 : 폐수중의 이온과 비용해성 교환수지로부터 주어진 이온종류가 교환되는 공정을 말한다. 사용한 수지는 재생해서 재사용 한다.

3) 생물학적 처리

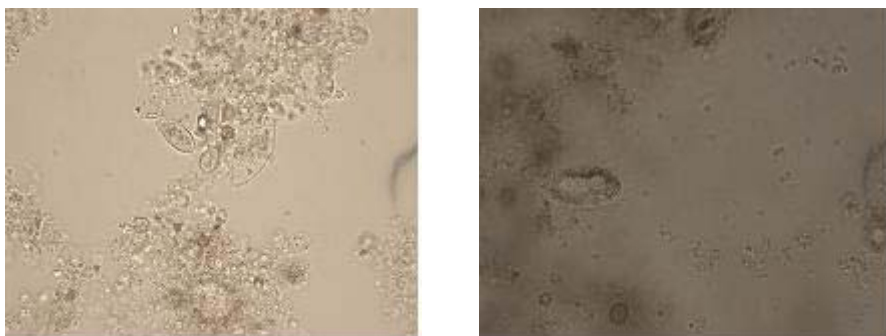
가) 폭기시설 : 폭기조는 호기성 미생물이 활동할 수 있도록 폐수 내에 산소를 공급하는 장치

나) 산화지법 : 라군(Lagoon) 또는 안정지로 불리는 연못과 같은 형태의 처리장에 오·폐수를 저장하여 놓고 세균이나 조류의 분해작용에 의해 오 폐수중의 유기물을 탄산가스나 암모니아로 안정화하는 일종의 자연 정화법을 말한다.



<그림 7> 산화지

다) 활성 슬러지법 : 활성슬러지 혼합액 중에 존재하는 여러 종의 미생물들이 처리 대상수중에 함유된 용존 유기물을 섭취하여 감소시키고, 이 미생물들이 서로 엉켜 플록을 이룬 다음 중력에 의해 침전되어서 생긴 미생물 덩어리(슬러지)를 빼내서 처리대상 폐수의 오염도를 낮추는 방법을 활성 슬러지법이라 한다. 활성 슬러지 미생물은 세균, 균류, 원생동물, 고등동물 등 여러 가지 종으로 복합구성 되어 있다.



<그림 8> 활성오니 중의 미생물

나. 정화처리기술

정화처리는 동일한 운영조건에서도 담당자의 운영기술에 따라 그 처리효과가 차이가 난다. 따라서 농가가 정화처리시설을 운영하기 위해서는 정화처리시설의 특성을 이해하고 그 운영방법에 대한 지식을 습득할 필요가 있다. 고액분리시설이나 침전조 운영 등의 물리적 시설은 주어진 운영설명서를 준수한다면 크게 문제 될 것이 없지만 생물학적 처리과정은 농장주 또는 담당자의 운영기술 그리고 지속적인 관심과 유지관리 여부에 따라 그 효과 및 비용대비 효용이 다르게 나타날 수 있다.

1) 정화처리시설을 정상적으로 운영하기 위한 필수 관련 항목 및 그 조건

가) 영양소

미생물이 필요로 하는 영양소 : C, H, O, N, P, S(탄소, 수소, 산소, 질소, 황, 인) 및 Ca, Mg, K, Na 등(칼슘, 마그네슘, 칼륨, 나트륨 등)이 충분해야 하며 폭기조 유입수 중의 BOD와 N과 P의 비율을 100 : 5 : 1 정도로 유지한다. 정화처리 현장에서는 이 항목은 BOD 용적부하와 관련이 있으며 처리시설 설계시의 BOD 용적부하를 준수토록 한다.

나) 용존산소 : 브로워에 의해서 처리대상 분뇨오수 중에 공기를 공급해주는 것을 말하며 폭기조 내 용존산소는 0.5에서 2.0mg/L 범위를 유지토록 한다.

다) 온도 : 적정온도는 보통 20에서 30℃이며, 10℃ 이하나 35℃이상이 되면 효율이 저하된다. 통상적으로 여름철에는 폭기조 온도가 40℃를 넘는 경우가 빈번하게 발생하므로 폭기조 온도 유지에 유의하도록 한다.

라) pH(수소이온 농도) : 폭기조의 산도는 오염물 처리와 관련된 미생물의 활력에 영향을 미쳐서 처리효율을 결정하게 하는 요소가 된다. 폭기조의 산도는 pH 6에서 8 사이의 중성을 유지하는 것이 좋다

마) MLSS (혼합액상 부유고형물) : 폭기조 내의 미생물농도 및 그 활력과 관계되는 요인으로서 MLSS농도는 1,500에서 2,500mg/L정도를 유지토록 한다

바) 폭기조 색상

정상적으로 운영되고 있는 폭기조에서의 분뇨 색이 적색계열 또는 적갈색 계열을 띠고 있으면 반응조 내의 미생물 상태가 양호한 상태로 생각해도 무방하다 반면에 폭기조 액이 흑색을 띠고 악취가 나면 용존산소 부족상태이고, 백색을 띠는 물질이 많이 관찰되면 사상균이 발생한 상태로 볼 수 있다. 브로워를 이용해 공기를 인위적으로 불어 넣음으로써

폭기조에는 거품이 생성될 우려가 있으므로 필요시 거품을 제거할 수 있는 소포시설을 설비토록 한다.

다. 활성오니시설 운영기술

1) 정화처리시설을 운영할 때 발생하기 쉬운 문제점과 그 해결방안

가) 슬러지 팽화 현상 : 폭기조 중의 DO, BOD, pH, 영양분 등의 불균형으로 사상균이 과다 번식하거나 미생물이 분산성장 단계에 있으므로 침전성이 불량하고 농축이 잘 되지 않는다. 이 현상은 F/M비가 낮거나, SVI가 200 이상으로 운전될 때, 사상균이 과다 번식했을 때, 유기물부하의 급격한 변화나 과부하시, 영양원 중 N, P가 부족할 때, 폭기조 내 DO가 낮을 때나 과폭기시, pH가 낮을 때 발생한다. 이러한 현상이 발생하였을 때에는 분뇨 투입량을 줄임으로써 BOD부하를 감소하고, 폭기조의 체류시간을 증대시키며, 반송 오니를 재 포기 시키거나 반송 슬러지에 10~20mg/L의 염소를 주입하면 완화 시킬 수 있다.

나) 슬러지 부상

침전되었던 슬러지가 폭기조 내에 부상함으로써 수면에 흑색, 담갈색의 슬러지 덩어리가 부유되는 현상을 말한다. 이 현상은 SVI가 높고 잉여 슬러지 인출량 부족시, 고착성 섬모충류 발생 및 지방을 함유한 부패성균의 성장시, 침전조의 수면적부하가 높고 침전 슬러지량이 많을 경우 발생한다. 이럴 때는 침전조의 유효수심을 낮추고 일시적으로 폭기조의 폭기량을 감소시켜 질산화 정도를 줄이고 반송 슬러지량을 증가하거나, 침전지의 슬러지 제거율 증가시키고, 슬러지 폐기량을 증가시켜 평균 미생물체류시간을 감소시키도록 한다. 슬러지 부상정도가 심할 때는 년1~2회 정도로 침전조 청소를 실시하도록 한다.

다) floc해체현상

슬러지 중 폐수를 처리할 세균이 사멸되고 해체되어 조그만 조각으로 되어 떠오르며, 부패균의 급격한 증식으로 침전조 상징액의 pH가 약산성으로 떨어지고 반응이 정지되어 폐수의 BOD 등이 그대로 통과하여 효율이 떨어지는 현상을 말한다. 이 현상은 폭기조 내로 유해물질이 유입되거나 F/M비가 0.1이하로 과소하거나 또는 0.4 이상으로 과대할 경우, MLVSS농도가 낮을 때, 통기량이 과잉상태일 때, NaCl 농도가 높거나 합성세

제가 유입될 경우에 발생한다. 이 때에는 폭기조 내의 통기량을 감소시키거나 유입 폐수량을 증가시키고 식중을 실시함으로써 이 현상을 완화시킬 수 있다.

라) 핀 floc현상

SRT가 너무 길면 세포가 과도하게 산화되어 활성을 잃게 되어 floc형성 능력을 상실함으로써 작은 floc이 현탁상태로 분산하면서 잘 침강하지 않는 현상이다. 반응조의 SRT를 감소시킴으로서 이 현상을 방지할 수 있다.

마) 두꺼운 갈색 거품

폭기조 수면위로 갈색의 두꺼운 거품이 생성되는 상태를 말한다. 이 현상은 SRT가 너무 길거나, 폭기량 과다시, 폭기조 온도가 높을 때, MLSS농도가 낮을 때 발생한다. 이 현상은 SRT를 감소시켜 세포의 과도한 산화를 방지하고, MLSS농도를 증가시켜 F/M비를 0.3이하로 낮추거나 소포제(거품제거 역할을 하는 약품) 첨가하거나 물을 뿌림으로써 이 현상을 완화할 수 있다.



<그림 9> 두꺼운 갈색 거품발생

사) 과도한 흰거품

SRT가 너무 짧거나 경성세제(ABS)가 폭기조에 유입 될 경우 폭기조 수면에 하얀색 거품이 생성되는 경우가 있는데 이 현상은 SRT를 증가시키거나 소포제를 뿌림으로써 완화된다.

아) 부패현상 : 슬러지가 흑색으로 변색되거나 기존의 활성미생물인 각종 황(S)세균이 출현되며 황화수소가 5ppm이상 발생된다. 이 경우 유입폐수 중에 황 화합물이 유입되지 않도록 억제하고, 폭기량을 증대시키며, DO 농도가 2~3mg/L정도 되었을 때 처리수를 유입시키도록 한다.

Ⅲ. 이용기술

퇴·액비는 완전히 부숙된 것을 이용하여야 하고 만약 미 부숙된 퇴·액비를 사용하였을 경우 작물의 생육에 나쁜 영향을 줄 수 있고, 특히 어린 식물의 경우 그 영향이 훨씬 크게 나타난다. 퇴·액비의 부숙도평가 기준은 현재까지도 여러분야에서 연구되어지고 있으나 일반적으로 간단하게 이용되고 있는 간이평가 방법들의 예는 다음과 같다.

1. 퇴비의 부숙도 평가

가. 관능적 검사

퇴비원료가 부숙되어 감에 따라 형태와 색 등의 외형적 성상이 달라진다.

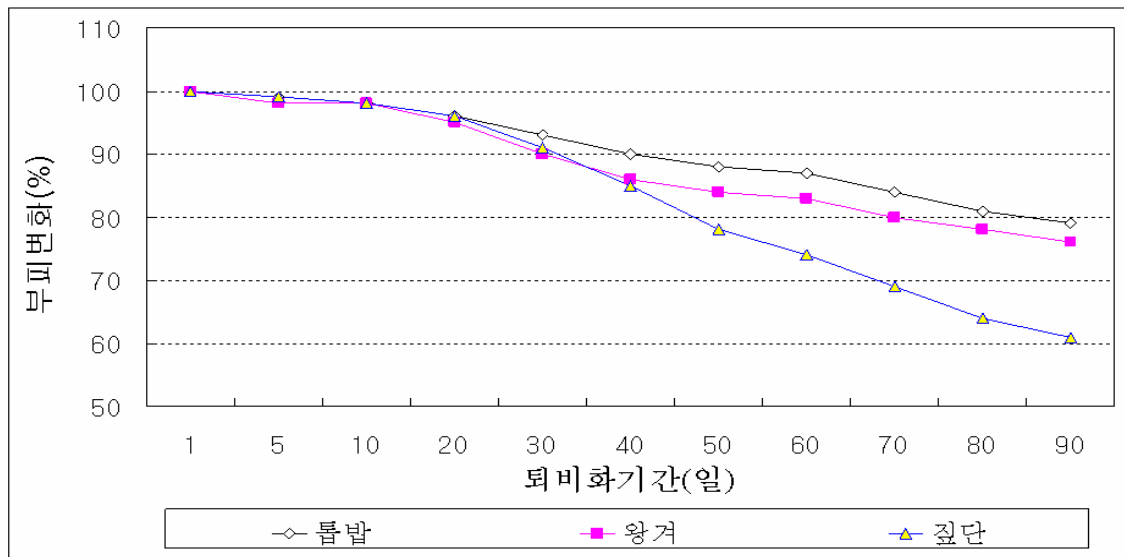
1) 외형 : 초기에 뚜렷했던 외관 형태가 부숙이 진행됨에 따라 구분하기 어려워지고 강도도 약해져 잘게 부스러지기 쉽다.

2) 색 : 축분과 수분조절재의 종류에 따라서 달라지지만 통상적으로 부숙초기에는 검정색 계열이 강하다. 부숙이 진행됨에 따라 검정색 계열이 없어지지만 한우 분뇨의 경우에는 그 변화정도가 돼지분뇨 등 다른 축종의 분뇨보다는 덜하게 된다. 톱밥과 혼합되는 경우 갈색계열을 띠게 된다.

3) 냄새 : 초기에 강하게 느껴지던 암모니아가스 등의 냄새가 부숙이 되어갈수록 약해지고 잘 부숙된 퇴비에서는 취기가 약하게 느껴진다.

4) 온도 : 부숙 초기에는 유기물의 분해에 따른 발효열 발생이 많지만 부숙이 되어가면서 온도가 낮아지게 된다.

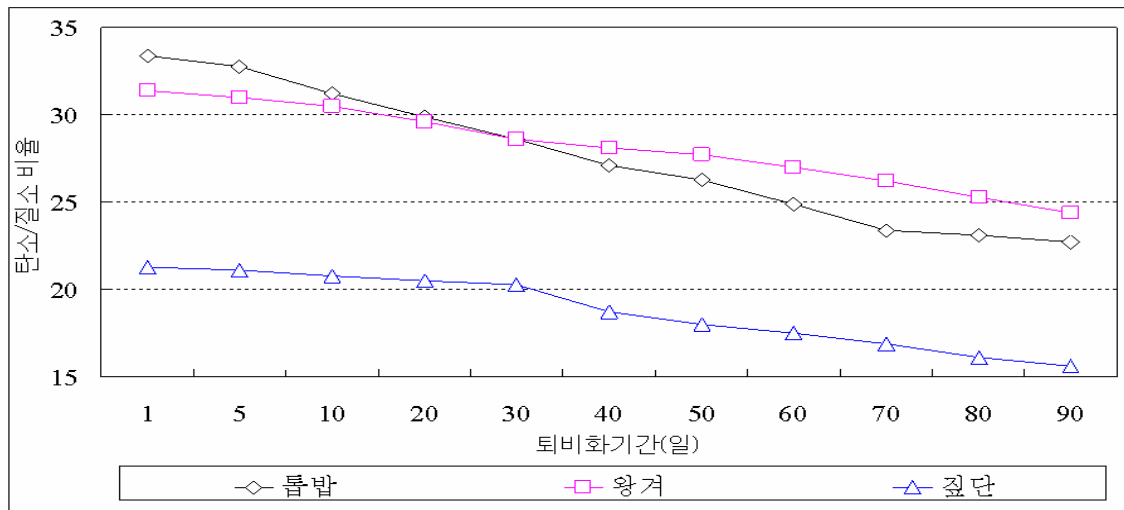
5) 부피 : 발효가 진행됨에 따라 퇴비원료가 분해되어 부피가 줄어들게 된다. 아래 그림은 한우분의 퇴비화시 수분조절재에 따른 부피변화를 예시한 것이다



<그림 10> 퇴비화에 따른 부피 변화

6) 산도(pH) : 한우분뇨의 퇴비화 초기에는 산도가 일시적으로 낮아졌다가 퇴비화가 진행됨에 따라서 다시 상승하는 경향을 보이는데 일반적으로 그 변화는 뚜렷하지는 않은 편이다.

7) 탄질(C/N)율 : 퇴비화시 퇴비화관련 미생물은 퇴비원료 중의 탄소를 에너지원으로 이용하여 활동하게 되므로 탄소량은 줄어들게 된다. 미생물은 탄소물질을 분해하여 에너지와 자신의 질소함량을 높이게 되고 이 과정에서 탄소는 이산화탄소로 날아가기도 하므로 퇴비화가 진행됨에 따라 탄질율이 낮아진다. 아래 그림은 한우 분을 재료로 하여 퇴비화를 하였을 때, 기간의 경과에 따른 탄질율의 변화를 나타낸 것이다.



<그림 11> 퇴비화에 따른 탄질율(C/N) 변화

일반적으로 C/N비가 20 ~25 내외로 되면 부숙이 된 것으로 본다.

8) 기타 방법 : 농가에서 가장 쉽게 이용할 수 있는 방법으로서, 부숙이 완료된 퇴비단에 지렁이나 벌레류 등의 생물이 살고 있거나, 버섯이나 풀 등의 어린 식물이 잘 자라면 부숙이 된 퇴비로 본다.

나) 퇴비 원료물질 (자료출처 : 농촌진흥청 비료공정규격)

1) 사용가능한 물질

- 농림부산물류(짚류, 왕겨, 미강, 녹비, 농작물잔사, 낙엽, 수피, 톱밥, 목편, 부엽토, 야생초, 폐사료, 한약재찌꺼기, 이탄, 토탄, 갈탄, 깻묵류 및 기타 유사물질 포함) - 페인트나 락카가 처리된 폐목재 제외

- 수산부산물(어분, 어묵찌꺼기, 해초찌꺼기, 게껍질, 해산물 도매 및 소매장 부산물포함) - 폐수처리오니 제외

- 인·축분뇨등 동물의 분뇨(인분뇨 처리잔사, 구비, 우분뇨, 돈분뇨, 계분, 기타 동물의 분뇨)

- 음식물류폐기물('03.8.5) ←음식물쓰레기

- 식료품 제조업·유통업 또는 판매업에서 발생하는 동·식물성 잔재물(도축, 고기가공 및 저장, 낙농업, 과실 및 야채, 통조림 및 저장가공, 동식물 유지류 빵제품 및 국수, 설탕 및 과자,

배합사료, 조미료, 두부 및 기타) - 폐수처리오니 제외

○ 음료품 및 담배 제조업에서 발생하는 동식물성 잔재물(주정, 소주, 인삼주, 증류주, 약주 및 탁주, 청주, 포도주, 맥주, 청량음료, 담배제조업 및 기타) - 폐수처리오니 제외

2) 사전 분석검토 후 사용가능한 원료

- 식료품 제조 및 판매업(수산물포함)에서 발생하는 폐수처리하오니
- 음료품 및 담배 제조업에서 발생하는 폐수처리오니
- 종이제조업에서 발생하는 부산물 및 폐수처리오니
- 읍·면단위 농어촌지역 생활하수오니
- 제약업에서 발생하는 부산물 및 폐수처리오니('02. 12. 31 개정)
- 물리적추출, 발효 단순혼합, 무균조작으로 제조하는 과정에서 발생하는 경우
- 화장품제조업에서 발생하는 부산물 및 폐수처리오니('02. 12. 31 개정)
- 기타 비료원료로 활용가치가 있는 물질

퇴비의 원료로 사용하고자 하는 자가 제시한 폐수처리공정에 첨가되는 물질의 종류 특성과 오니 중의 이화학적 성분, 재료의 토양오염 및 분해성의 자료를 농업과학기술원장이 검토한 후 지정 고시

합성 및 특수약품품을 제조하는 과정에서 발생하는 폐수처리오니는 제외('02. 12. 31 개정)

3) 사용 불가능한 원료

- 산업용 화합물 제조업 및 기타 화학제품제조업 부산물 및 폐수처리오니 ('02. 12. 31 개정 “제약포함” 삭제)
- 고무제품 및 플라스틱 제조업 부산물 및 폐수처리오니
- 제1차 금속 제조업 부산물 및 폐수처리오니
- 조립금속 제품, 기계 및 장비제조업 부산물 및 폐수처리오니
- 석유제조 및 정제업 부산물 및 폐수처리오니
- 가죽 및 모피제품 제조업 부산물 및 폐수처리오니

- 비금속광물 제품 제조업 부산물 및 폐수처리오니
- 육상운수 및 자동차 부산물 및 폐수처리오니
- 수선업 및 세탁업 부산물 및 폐수처리오니
- 인쇄, 출판 및 사진처리업 부산물 및 폐수처리오니
- 전기업 부산물 및 폐수처리오니
- 도시 및 공단지역 폐수처리오니
- 기타 사용불가로 명시된 폐기물과 유사한 물질도 포함

참고문헌

1. 2008.09., 가축통계. 통계청
2. 비료공정규격, 농촌진흥청

