

강좌

농축산폐기물 퇴비화

Composting Agricultural Waste

홍지형

정회원

J. H. Hong

1. 서론

가축분뇨, 농산부산물 및 동물사체 등의 농축산 폐기물(또는 생물계 폐기물)은 고형상, 슬러리(slurry)상, 및 액상 등의 형상으로 배출되며 고형 퇴비화와 액상 퇴비화 등의 농업 이용, 가연성가스, 연소열, 발효열, 석유형상의 물질을 얻는 에너지 이용, 가공하여 가축에 급여하는 사료이용, 미생물 균체, 수생식물, 곤충, 물고기 등을 생산하는 바이오매스 생산 이용 등이 있다(홍지형 등, 1999; Burton, 1997). 여기서는 농축산폐기물 퇴비화에 적용되는 고형폐기물 퇴비화 처리, 액상폐기물 퇴비화 처리, 이러한 생물계폐기물 퇴비화 처리과정에서 발생하는 배기가스의 바이오 필터(생물학적 탈취) 처리 및 동물사체 퇴비화 처리에 대한 최근 기술의 연구와 개발 동향을 소개하고자 한다.

2. 고형퇴비화 처리 시스템

가. 퇴비화 목적과 의의

고형 퇴비화(solid composting) 처리는 고형 생물계폐기물을 오물감과 악취를 없게 하고 병원균도 사멸시켜서 위생적으로 안전하게 처리된 유기질비료를 만들어 사용자가 취급을 쉽게 하는데 있다. 퇴비화 원리와 공정(그림 1)은 전처리, 분해, 안정화, 숙성, 탈취 등의 과정으로 구성되며, 분해단계에서 호기성 미생물의 활동을 활발케 하기 위해

다음과 같은 영양분(탄질비), 공기(산소), 수분, 미생물, 온도, 시간 등의 호기성 미생물 활동에 필요한 환경조건을 제어해야 된다(木村과 中崎, 1999; Haug, 1997; 박경규 등, 1996; 홍지형, 1988).

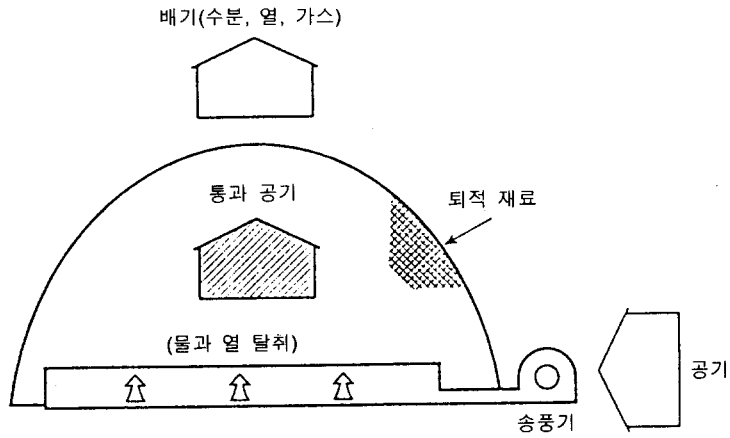
나. 퇴비화 원리와 조건

퇴비화는 적절한 제어 조건 하에서 호기성 미생물이 생물계폐기물중의 易分解性 유기물을 분해하여 악취가 없는 양질의 유기질비료를 생산하는 것이다(Rynk, 1992).

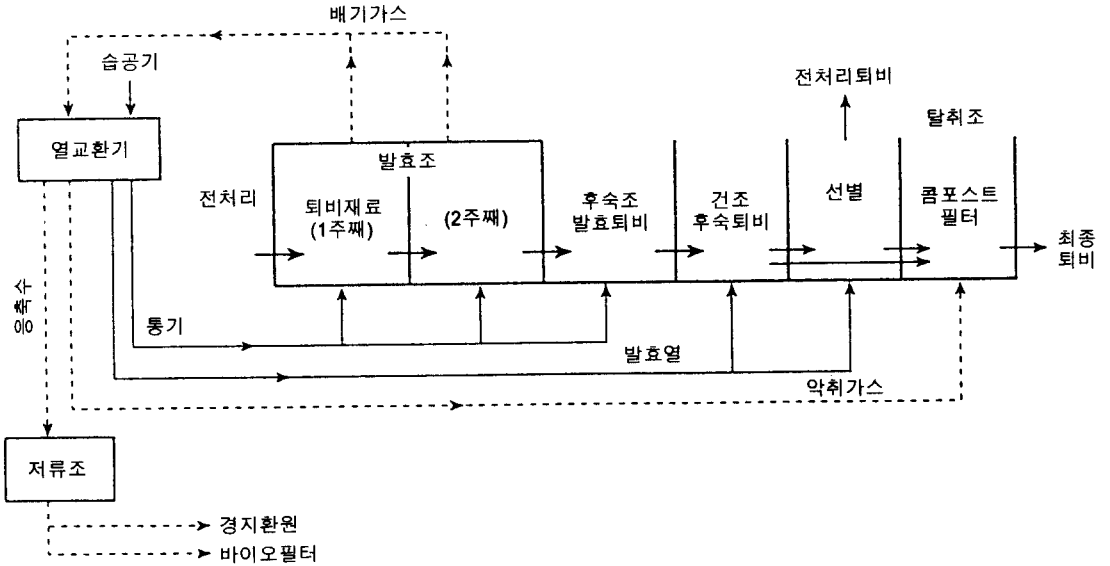
미생물의 영양분은 이분해성 유기물로서 가축분뇨 유기물은 80%로서 충분하며, 영양분 지표인 탄질비는 8~20정도로서 질소비율이 높다. 따라서 퇴비화 과정의 유기물 분해 시에 다량의 암모니아가 발생하여 탈취대책이 필요하다.

퇴비혼합물(대상 폐기물과 부자재) 재료의 수분은 미생물 활동에 필수요인으로 60~65% 조정하고, 통기성이 좋게 하기 위해서 용적 중량은 0.5kg/l 가 바람직하다. 수분과 탄질비를 조정하여 통기성을 유지하게 되면, 퇴비재료에 적정공기(50~300 l/min·m³)를 보내어 미생물 활동을 촉진해야 된다. 퇴비화에 요하는 미생물 수는 100만개/g 이상이나, 축산분뇨에는 1~10억개/g로서 충분하다. 퇴비화 온도는 병원균과 잡초종자 살균처리를 위해서 60℃로서 3~5일간 지속돼야 한다. 퇴비화 소요기간은 작물 잔사가 혼합된 퇴비는 3개월, 목질자재가 들어있는 경우는 6개월 정도의 분해, 안정화 및 후숙 기간이 필요하다(押田 등, 1998).

The author is Ji H. Hong, Chairman, Professor, School of Animal Resources & Industrial Machinery Engineering, Suncheon National University, Suncheon 540-742, Korea. E-mail: <jhhong@sunchon.ac.kr>



【A】 퇴비화 원리



【B】 고품 퇴비화 주요 공정

그림 1 퇴비화 원리와 공정.

다. 고품 퇴비화 공정

퇴비화 시설의 주요공정은 재료의 전처리, 퇴비 분해, 퇴비안정, 퇴비숙성, 퇴비탈취 및 품질 평가 등으로 구성되며, 공정별 처리 목표와 적정 수준은 아래와 같다(홍지형 등, 1999).

퇴비는 분해가 완전히 끝나고 안정화되면 토양

의 이화학적 성질을 개선할 수 있다. 퇴비재료의 산도, 수분, 퇴비분해온도, 산소(통기) 등은 분해율, 취기량 및 퇴비화 비용에 영향을 준다.

퇴비의 안정성은 퇴비화 온도, 탄산가스 호흡율 및 산소 흡수율 등으로 나타낼 수 있으며 퇴비의 숙성 상태를 판정할 수 있다(Epstein, 1997).

(1) 전처리 공정

전처리는 퇴비재료의 입경, 탄질비 및 수분 등을 조절하기 위한 부자재를 혼합하여 미생물의 유기물 분해활동을 촉진하는데 있다. 퇴비재료의 입경은 25~50mm, 탄질비는 20~40, 수분은 60~65% 등이 바람직하다. 부자재 혼합비율 계산법은 대각선법과 스프레드시트(sheet)법 등이 있다(홍지형 등, 1999).

(2) 분해 공정

미생물의 유기물분해로서 발생하는 퇴비화 발효열 제거, 병원균 사멸 및 휘발성 유기화합물을 제거하기 위하여 퇴비화 온도는 최고 55~60℃로서 3~4일 이상 유지해야 되며, 적정 통기량은 재료의 수분과 통기성에 따라 다르나, 연속통기의 경우 0.3~0.6 l/kgdm 정도이다.

(3) 안정화 공정

퇴비온도가 40℃ 이하로 저하되기 시작하는 시점부터 상온에 도달될 때까지 재료내의 독성물질 분해로서 작물에 무해한 완숙퇴비가 얻어 지는데, 퇴비화 처리 공법에 따라서 다르나 대개 20~60일 정도가 소요된다.

(4) 숙성 공정

퇴비의 독성물질과 총해재발을 제거하고, 시장성을 높게 하기 위해서 안정화 퇴비를 혼합, 교반하여 수분이 40~50% 정도, 산도가 5.5~8.5 범위가 되도록 유지하는 처리 공정이다.

(5) 탈취 공정

탈취처리 방법은 물리적, 화학적 및 생물학적 탈취법이 있으나, 숙성 중에 있는 미숙(생)퇴비나, 숙성이 끝난 완숙퇴비 등에 의한 생물학적 퇴비 탈취처리(compost biofiltration)법이 가장 바람직하다(홍지형 외 1998).

취기제어 공정은 배기가스를 안정화 또는 숙성 공정의 퇴비에 흡입시켜서 취기를 탈취하는 공정으로 연속통기로서 혐기상태를 방지하고, 퇴비재료의 탄질비를 20이상으로 높게 하거나, 분해단계의 퇴비온도를 60℃ 이하가 되게 통기를 조작하는 것이 필요하다(Hong 등 2000).

퇴비화 처리에서 취기억제는 탄질비를 25~30되게 하는 것이 이상적이나 실체는 20이하 수준이 되어 취기 발생이 필연적이다. 따라서 퇴비온도를 최고 60℃이하 되게 통기를 조작하거나, 재료의

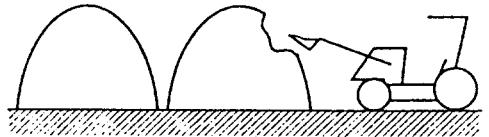
초기 탄질비를 20보다 크게 해야 암모니아가스 휘산 농도를 저감 할 수 있다.

(가) 생물학적 탈취방법

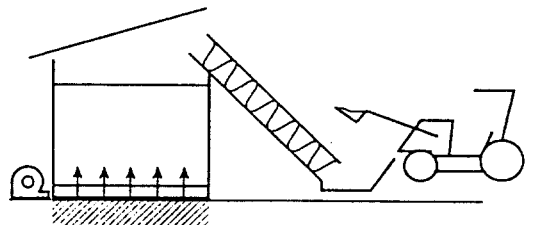
바이오 필터(biofilter)에 의한 생물학적 산화법인데, 탈취재료의 미생물이 취기성분을 고형과 액상으로 분해하여 취기를 제거하는 방법으로 미생물이 활동 할 수 있는 조건을 갖추어 주면, 반영구적으로 탈취가 가능하고 비용이 저렴하다. 이 방법에는 토양(soil) 탈취, 로크울(rock wool) 탈취, 펄트모스(peat moss) 탈취 및 퇴비(compost) 탈취 등이 있다.

라. 퇴비화 처리 시설

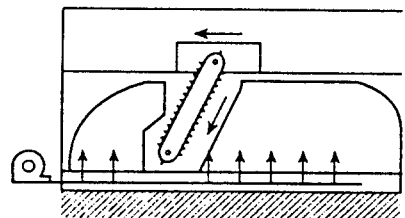
고형 퇴비화시설은 퇴적 방식과 교반 방식으로 양분되며 전자는 퇴비사, 통기형 퇴비사, 빈형 퇴



【A】간이 퇴적형



【B】통기 퇴적형



【C】통기 교반형

그림 2 고형 퇴비화 방식.

비시설 등으로 구분된다. 후자는 로터리형과 스쿠퍼형의 개방식과 횡형과 중형의 밀폐식으로 구분된다. 퇴적방식은 처리시설 구조가 비교적 간단하며, 유지관리가 용이하여 고장이 적고 운전비용도 작다. 반면에, 교반 방식은 자동화된 교반기를 설치하여 노동력이 들지 않는다. 통기장치를 갖추어 발효를 촉진하므로 처리기간이 퇴적방식보다 짧으나, 암모니아 가스의 휘산 농도가 많으며, 시설비와 운전비가 많이 든다(그림 2).

3. 액상 퇴비화 처리 시스템

가. 액상퇴비화 특징

액상가축분뇨는 액상폐기물(liquid waste)로서 슬러리(slurry)라고도 부른다. 가축 슬러리는 가축이 배설한 분과 오줌 및 깔짚 재료, 사료 잔사 일부가 혼합된 고액혼합유체의 총칭으로 비 뉴턴 유체이다. 슬러리 처리에는 분뇨를 자연 부숙 시키는 혐기성처리와 폭기 조작을 가한 호기성처리로 구분된다. 전자를 메탄발효처리(혐기성처리)라 하며, 후자는 악취제거를 목적으로 하는 단순 폭기(aeration)와 액상비료를 얻는 액상 퇴비화처리

(liquid composting) 로 구분된다. 혐기성처리는 병원성세균과 잡초종자가 파괴되지 않고, 염류농도가 높아 작물 생육에 문제가 있으며, 호기성처리는 호기성미생물의 활동으로 세균잡초종자 등이 사멸되나, 폭기장치 운전용 전기에너지가 많이 든다(홍지형 등, 1999; 農山漁村文化協會, 1995).

나. 액상퇴비화 시스템의 구성

축사에서 배출되는 분뇨와 잡배수의 혼합물인 액상분뇨를 전량 처리할 경우(혐기성처리)와 고형분을 제거하여 액상물만을 처리하는 경우(호기성처리)가 있다. 후자의 경우는 축사에서 분뇨를 분리하거나, 진동체와 고액분리기 등에 의하여 고액을 분리하는 전처리가 필요하다.

(1) 저류조

축사에서 액상분뇨를 일시적으로 저류하는 일차저류조, 교반과 폭기를 조작하는 폭기조, 폭기조를 한 슬러리를 저장하는 이차저류조가 있다. 폭기조를 지하에 설치하는 경우는 콘크리트제, 지상에 설치하는 경우는 철제가 보통이나, 보온과 시공장소의 관계에서 지상식이 유리하나, 건설비가 많다(그림 3).

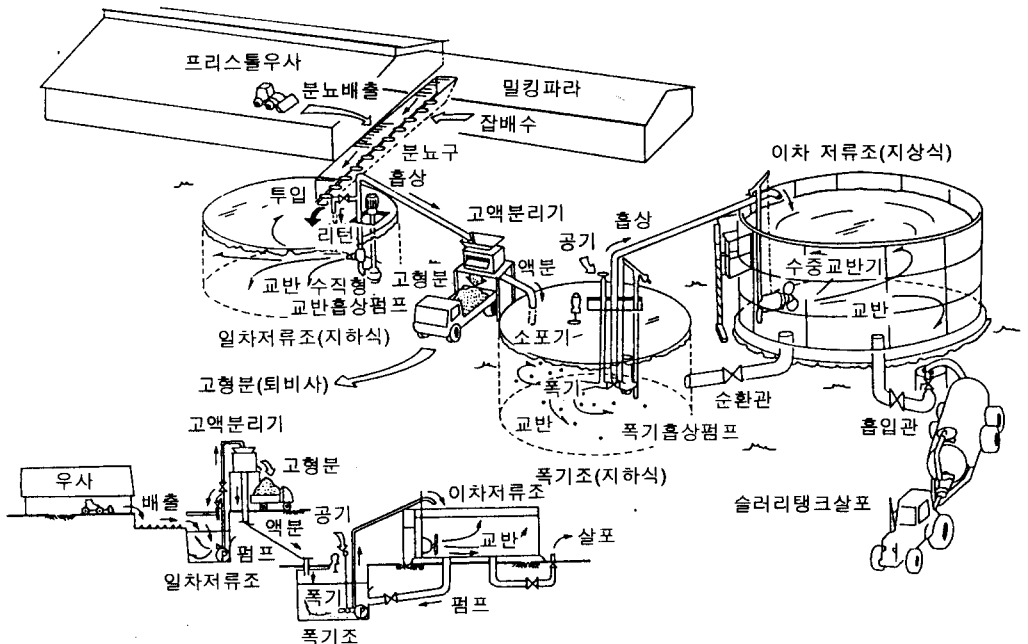


그림 3 액상 폐기물 퇴비화 처리 시스템.

(2) 교반폭기 장치

폭기조의 액상분뇨를 교반 하면서 공기를 보내는 장치로서, 폭기장치를 액면 상에 두어 표면을 폭기하는 플로우트(float)식과 저류조 바닥에 두어 공기를 흡인시켜서 혼합하는 수중 폭기 방식이 있다. 전자는 표면 폭기로서 기포발생이 적으나 후자는 대량의 기포가 발생하므로 소포기가 필요하다.

(3) 배관반송 장치

발효가 끝난 액상퇴비(liquid compost)를 포장에 환원하는 방법은 배관과 진공차로서 이용하는 지상살포방식과 슬러리 인젝터와 트레처로서 이용하는 지중 살포방식이 있다. 전자는 취기와 강우로서 양분손실이 되어서므로 신속한 경운 작업이 필요하다.

4. 탈취처리 시스템

퇴비화 처리 시설의 대부분의 취기 발생은 재료의 탄수화물과 단백질 등의 유기성물질의 불완전한 미생물 산화작용에서 기인된다. 축사와 퇴비화 시설의 취기 저감은 취기물질을 탄산가스와 물로 변환하는 호기성 분해과정의 적정 설계와 관리로서 달성된다(Miller, 1993).

퇴비화 분해공정의 급속한 유기물 분해는 다량의 암모니아 가스를 대기로 배출하게 된다. 대부분의 퇴비화 재료는 호기성 조건을 유지하는데 필요한 적정 산소를 받을 수 없는 작은 혐기성 기포에서 발생되기도 한다.

생물계 폐기물 퇴비화처리가 호기성이면, 유황화합물과 휘발성지방산에서 기인하는 악취가 억제되나, 퇴비재료의 탄질비가 20 이하로 낮아서 암모니아 발생이 일어나게 된다. 따라서, 퇴비화 분해 공정의 배기가스를 숙성공정의 미숙(생) 퇴비재료에 대배발 등을 중량비로 절반씩 혼합한 바이오 필터에 취기를 분해와 흡착 처리하는 생물학적 퇴비탈취가 바람직하다.

가. 생물학적 탈취재료(또는 바이오 필터)의 구비조건

생물학적 탈취처리(biofiltration)는 개방형(그림 4)과 밀폐형이 있으며 전자는 다량의 저농도 취기의 제거에 좋으며, 후자는 소량의 고농도 생물계

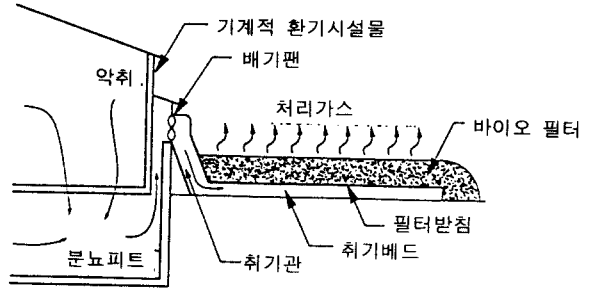


그림 4 축사와 퇴비화 시설의 퇴비 탈취처리 시스템.

폐기물처리시설의 취기 탈취처리에 적당하다. 생물학적 퇴비탈취 재료(compost biofilter media)의 이화학적 특성의 적정 범위는 다음과 같다. 취기가스량은 연속통기로서 퇴비화 통기량(150 l/min.m³)과 같으며, 공기 공극율(free air space)이 30%, 압력강하(통기저항)가 70~110 Pa/m, 체류시간(retention time)이 30~60s/m, 온도가 15~40℃, 수분이 50~70%, 퇴적고는 0.5~1.5m, 입경 분포는 4mm 이상이 60% 정도이며, 산도가 6.5~8.5 등이다(Janni와 Nicolai, 1999; 홍지형 등 1999).

나. 바이오 필터(biofilter) 처리 설계시 고려 사항

퇴비, 피트 및 토양 등의 바이오 필터는 여러 종류의 박테리아로서 탈취처리가 진행되는 것으로, 바이오 필터 설계에 고려할 사항은 가스 유동의 균일성, 조화, 加濕, 냉각, 탈취 등의 제 조건이 적정하게 유지되어야 된다.

취기 흡착능력은 바이오 필터 크기와 성분이 관련되며, 섬유질 바이오 필터는 통기저항을 작게 하고, 표면적을 크게 한다. 취기 가스유속, 공극체적, 입자크기 등은 바이오 필터의 취기 가스 유동 저항에 영향을 준다.

공칭표면속도(nominal face velocity ; air load ; superficial velocity)는 단위시간의 바이오 필터 면적당 취기량으로 0.01m/s이하가 좋으며, 취기유속이 너무 빠르면, 바이오 필터에 취기 흡착 체류시간이 불충분하게 된다(Janni와 Nicolai, 1999).

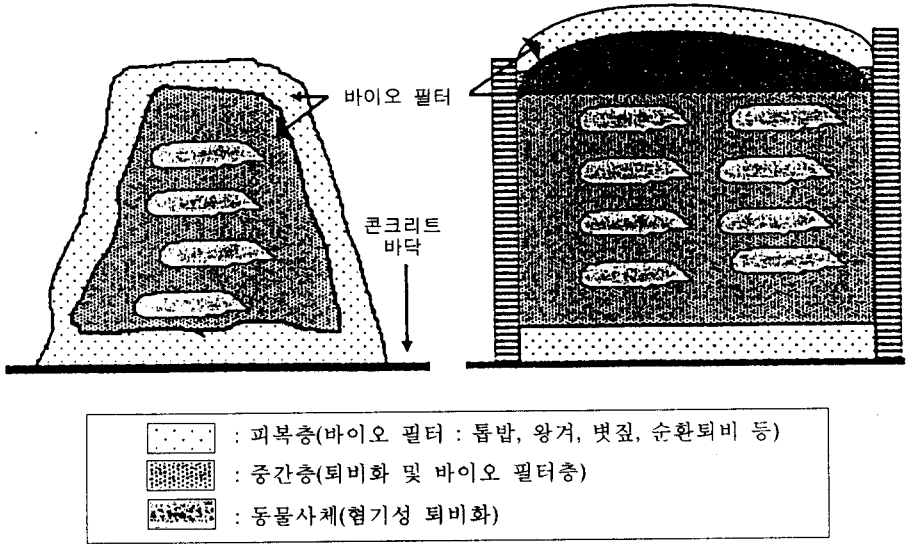


그림 5 동물사체 퇴비화 처리시설.

표 1 양질 퇴비 판정 기준 및 중금속 성분 함유량 규제농도

항 목	기 준		
부 숙 도	유식물 발아율 90%이상 또는 >5.0mg CO ₂ -C/gr compost-C (day)		
용해염도	>4.0ds/m		
pH	6.0~8.0		
입 경	13~20mm		
수 분	30~40%(wb)		
탄 질 비	20이하		
병원균 사멸	퇴비분해과정온도 55~60℃ 연3일이상 유지		
※ 이물질(유리, 플라스틱재, 철재 등)은 직경 4mm 이하로서 건물중량 1.5%이내 중금속 성분 함유량(유럽국가기준 범위)규제 농도(mg/kg)			
카드뮴 : 1.0~40	비 소 : 10~15	니 켈 : 20~400	
구 리 : 60~1,750	납 : 100~1,200	모리브덴 : 5	
크 롬 : 50~750	수 은 : 0.3~25	주 석 : 25	
코발트 : 10~25	아 연 : 200~4,000		

5. 동물사체 퇴비화 처리 시스템

동물사육과정에서 자연 폐사되는 동물사체 퇴비화 처리는 지하수와 대기오염 방지는 물론, 가축 질병 확산을 방지하고 사체의 매립지 부족 등을 해결하는데 목적이 있다.

동물사체 퇴비화 영향요인은 탄소재료인 부자재(3)와 질소재료인 사체(1)의 중량비로서 탄질비가 25가 되도록 퇴적 하는게 좋다. 사체 주변의 퇴적 재료인 부자재 수분은 50~60%, 용적중량은 530kg/m², 퇴비 분해온도는 40~65℃가 바람직하다(홍 지형, 1998).

동물사체의 수분은 70~80%이고, 탄질비는 5~12이며, 부자재인 왕겨, 톱밥 및 볏짚 등은 수분이 45~55%, 탄질비는 각각 94, 200~920 및 49정도이다. 과일형 및 빈형 돼지사체 퇴비화 처리시설의 횡단면 구조는 그림 5와 같다.

6. 퇴비품질 판정 기준

고형 퇴비화처리 품질 평가는 생물학적 산소 요구량 등의 미생물 활동법, 발아 성적 등에 의한 생물학적 방법, 퇴비온도와 색깔 등의 물리학적 방법, 탄질비 등의 화학적 방법 및 부식물질 등에 의하여 판정하고 있으나, 최근 가장 편리하게 판단하는 완숙퇴비(상급) 기준과 중급속 허용농도 범위는 일반적으로 다음 표 1과 같다(홍 지형 등, 1999; Epstein, 1997).

7. 결 론

우리나라는 농축산업, 임업 및 수산업 등의 생물생산시스템에서 발생하는 생물계폐기물 자원화 기술인 퇴비화 처리의 실용화 보급이 환경보전 차원에서 필요한 실정이다. 우리나라에서도 체계적인 연구과제를 확립하고 연구를 활성화시킬 때 외국의 생물계폐기물 퇴비화 기술 수준에 도달되어 경쟁력을 갖추게 될 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Burton, C. H.(Ed.) 1997. Manure management, Silsoe Research Institute, Bedford, U.K.
2. Epstein, E. 1997. The Science of Composting, Technomic Publishing Co., Lancaster, PENN. U.S.A.
3. Haug, R. T. 1997. The Practical Handbook of Compost Engineering, Lewis Publishers, Inc., Boca Raton, Florida. U.S.A.
4. Hong, J. H., H. M. Keener and D. L. Elwell 2000. Biofiltration using partially stabilized hog manure compost, 2000 ASAE Annual Int' l Meeting Paper No. 004095, St. Joseph, MI., U.S.A.
5. Janni, K. A. and R. Nicolai. 1999. Designing biofilters for livestock facilities. Livestock and poultry odor workshop II. Dept. of Biosystems and Agricultural Engineering, Univ. of Minnesota. St. Paul, MN., U.S.A.
6. Miller, F. C. 1993. Minimizing odorgeneration, In, H.A.J. Hointink and H. M. Keeners (eds.), Science and Engineering of Composting, Renaissance Publications, Worthington, OH. U.S.A
7. Rynk, R.(Ed.) 1992. On-Farm Composting, Northeast Regional Agric. Eng. Service, Ithaca, NY., U.S.A.
8. 박경규, 서상룡, 김상헌, 김현옥, 성삼경, 장동일, 최홍립, 홍지형. 1996. 축산기계 및 시설. 문운당.
9. 홍지형, 박금주, 전병태, 홍성철. 1999. 축산폐기물 자원화, 동화기술.
10. 홍지형, 최병민, 박우룡. 1998. 연속 및 간헐통기가 돈분 퇴비화 및 생퇴비 탈취에 미치는 영향. 한국농업기계학회지 23(1):31-48.
11. 홍지형. 1998. 동물사체 퇴비화시설의 운영관리. 한국농업기계학회지 23(6):635-640.
12. 홍지형. 1988. 호기성 발효퇴비화에 의한 농축산 및 기타 유기성폐기물의 녹농지 환원 이용. 한국농업기계학회지 13(3):81-90.
13. 押田敏雄, 柿市徳英, 羽賀清典. 1998. 畜産環境保全論, 養賢堂, 東京, 日本.
14. 農山漁村文化協會編. 1995. 畜産環境對策大事典, 農山漁村文化協會, 東京, 日本.
15. 木村俊範, 中崎清彦. 1999. 生物系廢棄物 composting 技術. CMC, 東京, 日本.