

축사와 퇴비 시설 취기제어를 위한 생물학적 탈취 기술의 적용

홍지형

순천대학교 농업생명과학대학 동물자원·산업기계공학부

Biofiltration Technology Application for Livestock and Compost Facility Odor Control

Hong Ji-Hyung

School of Animal Resources and Industrial Machinery Engineering,
Suncheon Nat'l Univ., 540-742 Suncheon, Korea

Summary

Odor control for livestock and compost facilities has focused on manure handling and treatment during storage and land application, however, large amount of malodorous air is emitted and it is one of main sources of malodour in livestock farming. Biological treatment or biodegradation involves converting an organic contaminant to carbon dioxide and water using natural bacteria. Biofiltration is an effective air pollution control technology that uses microorganisms to breakdown gaseous contaminants and produce innocuous end products. Investment and operating costs on the biofiltration are lower than for thermal and chemical oxidation processes. This paper is intended to provide an overview of basic design and operating criteria for biofilters to control odors from livestock and compost facilities.

(Key words : Manure odors, Biofiltration, Odor removal)

서 론

생물학적 탈취처리(biofiltration)는 미생물이 취기(臭氣)성분을 분해하여 무해한 최종산물을 얻는 효과적인 대기오염 방지 기술이다. 이것은 축산 대기오염 억제 기술로서 1980년대 초기에 독일에서 연구되었다(Zeisig와 Munchen 1987). 최근 미국의 연구는 바이오

필터에 대한 관심과 축산시설의 대기오염 방지 기술성과에 대하여 정보를 제공하고 있다 (Sun 등, 1999).

생물학적 탈취처리는 저 농도 취기 성분 혼합물을 처리하는데 매우 효과적이다. 수분, 산소, 온도 및 영양분 등의 미생물 생육에 대한 환경학적, 영양학적인 요구는 바이오 필터의 설계와 관리에 반드시 고려되어야 한

다. 바이오 필터 설계 정보는 제한되어 있으며, 유럽에서 광범위한 연구 성과가 바이오 필터 가이드 라인 개발에 활용되어 왔다.

생물학적 탈취처리는 압력강하와 취기의 바이오 필터 매체의 틈새 이동현상으로서 균등분배가 문제가 되고 있으나, 이러한 문제를 해결하는데는 필터 매체의 공극율이 높아야 된다(Nicolai, 1998).

본 연구는 최근의 바이오 필터 설계 정보를 제공하는데 있으며, 보다 많은 실험과 연구성과로서 기대되는 새로운 자료를 얻게 하는데 뜻을 두고 있다.

날로 증가되고 있는 축산물 생산시설과 유기질 비료 생산시설 및 생물계폐기물처리시설에서 발생하는 취기 저감 대책은 시설주변의 환경 보전과 주민 건강 보호 면에서 대단히 중요시되고 있으나, 생산비용의 절약 면에서 고도의 열화학적 탈취처리 기술의 적용에 한계가 있다.

취기는 폐기물처리와 퇴비화 작업, 취기조작 등에서 일어나며, 취기처리 장비는 탈취시설의 계획, 설계 및 작업 등을 포함한다. 취기 저감은 취기성분을 냄새가 없는 탄산가스와 물로 전환하는 미생물 호기성 분해과정의 적정 설계와 작업으로 가능하다. 이러한 호기성 분해는 적정한 호기성 조건을 유지할 때에 일어나게 된다. 그러나, 생물계폐기물의 호기성 퇴비화 처리로서 일어나는 취기의 제어는 만족스러운 수준으로 취기저감을 기대할 수 없다.

축사, 퇴비화 시설, 가축분뇨처리시설 등의 생물계폐기물처리 사업장의 취기는 유기물의 불안전 미생물 산화작용 결과로서, 주로 재료의 탄수화물과 단백질에서 발생된다. 이러한 악취는 취기성분을 냄새가 없는 탄산가스와 물로 변환하는 바이오 필터의 적정 설계와 작업으로 취기 억제 가능하다(Hong, 1994).

본 연구에서는 생물학적 탈취방법인 바이

오 필터 기술 설계 방법에 관한 최대 취기량과 오염부하농도, 매체 특성, 체류시간, 바이오 필터 크기 및 취기처리 방법 등에 관한 최근 기술 개발 성과에 대하여 고찰하고자 한다.

1. 바이오 필터기술의 환경요인 및 설계 조건

생물학적 탈취방법은 탈취에 필요한 연료와 화학약품 등이 필요치 않으며, 비용이 저렴하다. 또한, 처리 공정이 안전하며, 처리 후에 유해가스가 없는 것이 특징이다(Govind, 1999).

축산시설의 취기발생 장소는 축사와 분뇨처리이용시설 등이며, 전자에서는 저농도의 취기로서 다량 배출되며, 후자는 고농도 취기로서 전자보다 적은 취기량을 배출한다.

축분건조시설과 퇴비화처리시설 등의 가축분뇨처리시설 등에서 발생하는 취기 탈취처리는 발생된 취기를 발생원에서 외부에 확산되지 않도록 발생 원을 밀폐화 해야 된다.

밀폐화된 건물내부는 취기와 발생된 수증기가 축만 되므로 배기 팬으로 바이오 필터 매체에 공급하여 취기를 공급하고 동시에 신선한 공기를 유입되게 한다(홍 지형 등, 1999).

생물학적 탈취처리는 바이오 필터 매체인 토양 퇴비, 대패밥, 수피, 석면(rock wool) 등의 바이오 필터에 취기를 보내어 흡착하거나, 바이오 필터 수분에 용해시켜 탈취 처리하는 기술로서 취기성분을 호기성 미생물 분해 활동으로 물과 탄산가스 등의 냄새가 없는 성분으로 만드는 것이다. 이 방법은 비교적 양호한 탈취효과와 시설비와 유지비가 적게드는 미생물 이용방법인 미생물 탈취 또는 생물탈취장치(biological deodorizing system)로서 바이오 필터 시스템의 주요 특성은 다음과 같다.

가. 취기 억제 및 탈취 방법

바이오 필터 매체에 취기의 연속 통기는 혐기 상태를 방지하며 취기억제에 가장 중요한 작업이다. 미생물은 취기성분의 분해단계에서 산소와 영양분을 사용하여 취기물질을 분해한다.

대기오염방지를 위한 취기처리는 표 1과 같으며, 응축처리, 저온응축, 세정처리, 소각처리, 촉매 산화법, 재생 흡착법, 비재생 흡착법, 퇴비 바이오 필터 및 바이오 살수 여상법 등의 생물학적 산화처리 방법이 있다 (홍지형 등, 2000 ; Govind, 1999).

바이오 필터 탈취처리 방법의 선정은 시설의 여건에 따라서 결정된다. 바이오 필터는 탈취작업과 유지에 필요한 장비가 별도로 없으므로, 바이오 필터에 의한 취기제거는 퇴비화 처리와 같이 미생물의 생물학적 요구에 맞게 관리되어야 한다. 바이오 필터 형상은 개방식(그림 1)과 밀폐식(그림 2) 등이 있다 (Janni와 Nicolai, 1999; Williams와 Miller, 1993). 전자는 건물 밖의 지상에 넓은 면적에 설치되므로 외부의 기후에 영향을 받게 된다. 후자는 작은 배기가스 구멍에 취기를 보내어 흡착 탈취하는 것이다. 통기퇴적식 고

형퇴비화처리의 분해단계의 배기가스를 안정화 단계의 미숙 퇴비에 통과하여 탈취처리 하였을 때에 암모니아 가스 제거율은 61~82%를 나타냈다(Hong 등, 2000).

나. 바이오 필터 환경요인

바이오 필터는 취기가 없는 완전 무 배출 처리 기술이다. 바이오 필터의 적정 설계와 작업은 취기물질을 바이오 필터에 흡착시키면 달성 할 수 있다. 바이오 필터의 적정 설계와 작업은 미생물활동(미생물, 영양분, 수분, 산소)의 기본요인이 갖추어진 다공성 필터재료로서 구성된다. 바이오 필터는 필터 매체에서 일어나는 이화학적, 생물학적처리 작용으로 취기 저감이 달성된다. 생물막에 있는 미생물은 휘발성 유기성분과 토양에서 자연적으로 발생하는 것과 동일한 산화 가능한 무기 가스를 산화한다. 미생물은 휘발성 지방산, 알콜, 황화수소, 암모니아, 축사에서 발생하는 휘발성 물질 등을 산화 할 수 있다. 미생물 산화 생성물은 대부분이 탄산가스, 물 및 무기 염류 등이다(Nicolai, 1998). 취기는 바이오 필터에 물리적 흡수와 수분에 용해 및 미생물 분해 등으로 처리된다.

Table 1. Various air pollution control technologies

Type of technology	Air flow rate(m ³ /h)	Concentration (g/m ³)
Condensation	200~20,000	50~200
Cryo-Condensation	30~600	5~90
Scrubbing	200~20,000	10~40
Incineration	10,000~100,000	8~140
Catalytic Oxidation	10,000~100,000	1~10
Regenerative Adsorption	100~10,000	1~10
Non-regenerative Adsorption	10~60	0~5
Compost Biofiltration	60~300,000	0~0.05
Biotrickling Filter	10~300,000	0~8.3

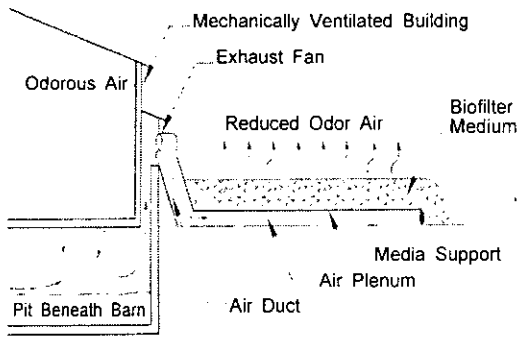
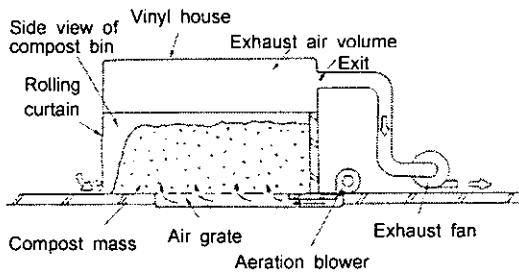
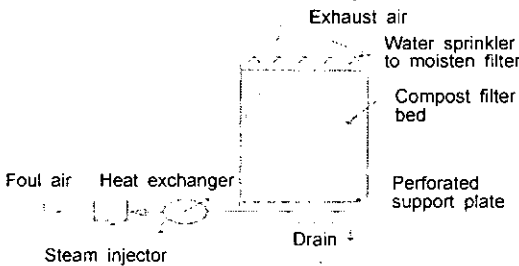


Fig. 1. Schematic of a typical open biofilter.



(a) Aeration airflow in static pile composting



(b) Closed biofilter

Fig. 2. Closed biofilter system for odor control (Source : William and Miller, 1993).

바이오 필터는 물리적 분해에 견디어 내야 하며, 넓은 표면적을 유지하며, 많은 수분을 흡수해야 되며, 통기에 지나친 저항이 없는 수분을 유지해야 된다. 과쇄된 대패 밥과 뿌리가 이상적인 바이오 필터 매체이다.

바이오 필터 기술에 관한 환경요인의 최적 조건은 다음과 같다.

(1) 통기

통기는 전 기간 유지되어야 하며, 혐기 상태가 되면 바이오 필터는 취기 원이 된다. 정상적인 조건은 바이오 필터에 연속통기 하는 것이 좋다. 매체를 통한 통기가 제한을 받게 되면, 매체의 방해요인을 검사해야 된다. 매체가 분해되고 안정 상태로 되면 새것으로 교체하여 공극율을 크게 하고 공기저항을 적게 해야 된다(Hong 등, 2000).

(2) 온도

미생물은 30~40℃ 온도 범위에서 바이오 필터 성능이 우수하다.

필터 매체의 중심온도는 26~52℃를 유지해야 되며, 탈취처리 취기온도는 바이오 필터 온도에 미치는 영향이 크다. 퇴비화 분해 단계의 배기 온도가 적정범위 이상이면 바이오 필터 온도를 높게 하여, 효율적인 작업이 되지 않는다(Nicolai, 1998).

(3) 수분

퇴비 바이오 필터에서 적정 수분(wb)은 30~60%이며, 피트 바이오 필터는 40~70%가 적절하다. 일반적으로 30~40%보다 50% 정도의 바이오 필터 수분에서 암모니아 가스 제거효율이 높게 나타났다.

바이오 필터 매체 표면 아래 15cm 부근의 수분은 50% 되게 하고, 처리되는 취기는 수분이 포화상태가 되어야 한다. 만일, 필터매체가 수분이 저하되어 건조하게 되어지면, 바이오 필터 표면의 저 수분 조건을 조정하기 위하여 수분 첨가가 필요하다. 수분을 첨가 할 때는 매체를 통과하는 취기가 수분의 방해 받지 않도록 하기 위해서는 미세립 상태로 수분을 공급해야 된다. 과다한 수분 또는 물의 적체는 취기 통과를 방해하며 혐기 상태가 된다. 다습한 기후에서는 과다한 수분을 방지하기 위해서 바이오 필터를 피복해야 된다(Williams와 Miller, 1993).

(4) 산도

미생물 활동은 바이오 필터 매체의 산도가 6~9의 범위에서 활발하다. 산도가 중성이하면 혐기성으로 많은 유기물질이 축적된다. 적절한 취기를 필터 매체 전 부위에 통과하기 위해서는 이 문제를 교정해야 된다. 유기물질의 축적은 바이오 필터의 기능인데, 이것은 취기 성분의 농도와 종류에 관계된다. 바이오 필터 매체의 산도를 조정하기 위해서 탄산칼슘이나 유황 등을 첨가하기도 한다 (Janni와 Nicolai, 1999).

(5) 혼합과 교반

바이오 필터는 압밀이 쉽게 일어나 처리효율이 저하되므로 연간 1회정도 혼합과 교반이 필요하다. 주기적인 혼합과 교반은 수분, 미생물, 양분 및 공극율을 재분배하거나 저장하는데 사용된다(Nicolai와 Janni, 1999).

다. 바이오 필터 설계조건

바이오 필터는 주로 미생물학적 처리로서 작동된다. 필터 매체의 부하율과 환경조건은 취기성분을 산화하는 미생물 群體의 능력과 일치된다.

표 2는 바이오 필터 매체의 특성을 나타낸 것이다.

바이오 필터 성능에 관계되는 설계 및 작동 요인은 다음과 같다.

(1) 체류시간 및 흡착 용량

체류(저항)시간은 취기가 흡착되는 바이오 필터 매체 접촉에 소요시간이다. 최적수준의 취기저감을 달성하여 오염물질을 흡착하는데는 적정 체류시간이 필요하다. 체류 시간 (Classen 등, 2000; Janni와 Nicolai, 1999)은 바이오 필터 매체 용적을 취기량으로 나눈 값, 즉, 빈 베드 접촉시간(empty bed contact time)으로 표현되며 다음 식과 같다. 가축분뇨 저류 시스템에서 최소 빈 바이오 필터 베드 접촉 시간은 3~10초가 표준이다. 실제 접촉시간은 매체가 바이오 필터 베드 (biofilter bed) 용적을 채워져서 공극을 통과하는 취기 시간이 짧게 되므로 작다.

$$\text{빈 베드 접촉시간(s)} = \frac{\text{매체 용적(m}^3\text{)} \times 60\text{s/min.}}{\text{설계 취기량(m}^3\text{/min.)}} \dots\dots\dots (1)$$

바이오 필터 매체의 크기와 구성은 취기 성분을 흡착하는 바이오 필터 용량에 직접 관계된다. 섬유질 매체는 최소 통기저항과 최대 표면적을 확보하여 준다.

(2) 취기 유동 저항

바이오 필터 매체의 압력강하를 줄이고, 수명연장을 위해서는 세라믹, 플라스틱, 나무 조각, 활성탄 등과 같이 분해가 어렵거나 느리게 일어나는 물질을 퇴비와 같이 혼합하여 사용한다(Nicolai, 1998).

취기속도, 공극 용적 및 입경 등은 매체 저항에 영향을 준다. 공극 용적(입자사이 공

Table 2. General media characteristics

Material	Porosity	Moisture capacity	Nutrient capacity	Useful life	Comments
Peat	Average	Good	Good	Good	Materials that are a good source of microorganism
Soil(heavy loam)	Poor	Good	Good	Good	
Compost(yard waste)	Average	Good	Good	Good	
Wood chips(7.6cm)	Good	Average	Average	Average	Materials that allow
Straw	Good	Average	Poor	Poor	good airflow

간의 크기)은 중요하다. 수분 증가는 공극 감소에 유효하나, 매체의 압력을 증가하게 된다. 취기 입자 또한 같은 영향을 미친다. 시스템에서 취기 저항 증가는 더 많은 에너지를 요구하여 운전비가 늘어나게 된다(Janni와 Nicolai, 1999).

(3) 바이오 필터 크기(면적)

사용되는 바이오 필터 매체 종류는 축산분뇨처리 시스템에서 배출되는 취기 성질과 용적에 관계된다. 바이오 필터는 탈취 매체가 지표면에 있으며, 지표면 하부의 다기관에 취기가 분산되는 토양 필터형과 탈취매체가 용기 내에 들어 있는 바이오 타워형이 있다. 매체 면적은 표면속도(매체 표면에 통과된 공기 용적 또는 매체 면적에 단위시간당의 취기용량; $m^3/m^2 \text{ min}$. 또는 m/min)로 결정된다. 대부분의 바이오 필터는 표면속도가 $2m/min$ 이다. 만일 취기속도가 빠르면, 포집된 취기를 흡착하는데 필터의 체류시간이 짧게 된다(Williams와 Miller, 1993).

(4) 매체 높이

바이오 필터 매체높이는 체류시간과 압력강하에 관계된다. 축산시스템의 바이오 필터 매체 높이는 $0.25 \sim 0.3m$ 가 표준이다. 산업에 적용되는 바이오 필터 높이는 $0.5 \sim 2.5m$ 정도로서 대개 $1m$ 가 일반적이다. 이것은 필터 매체에 취기가 접촉하는데 충분한 시간이다. 이것은 취기를 필터베드에 균등하게 분포하며, 취기저항을 균등하게 한다. 보다 깊은 필터베드는 매체에 취기저항을 증가한다. 접촉 시간, 필터베드 면적, 취기속도, 매체높이 및 취기 이동에 소요동력 등이 적정해야 된다(Janni와 Nicolai, 1999).

(5) 취기 유동의 균일성

매체의 압력강하는 공극율과 높이에 관계된다. 바이오 필터 매체의 압력 강하와 취기

가 매체의 갈라진 틈새를 흐르는 현상을 방지하기 위해 밀폐형 시스템에 공극율이 높은 매체인 대패밥에 퇴비를 혼합하는 것이 가장 이상적이다. 취기의 최대 휘발성 유기물질 농도는 $3 \sim 5g/m^3$ 정도이다(Leson와 Winer, 1991). 취기부하농도는 취기량, 체류시간, 흡수용량 등으로 표현되며, 취기량은 $0.3 \sim 1.6m^3/min/m^2$ 이 표준이다(Naylor와 Gormsen, 1992).

균일한 취기 이동의 달성은 바이오 필터 성능에 가장 중요한 요인이다. 필터베드의 낮은 저항 부위를 통과한 취기는 취기제거효율을 저하한다. 취기가 없는 부분은 산소를 저장하여 혐기성 상태를 유발하고, 바이오 필터 성능을 저하시킨다.

(6) 박테리아 배양

박테리아 배양은 산소를 사용한 생물학적 분해 유기물에 의한 호기성 배양이다. 유기물질인 취기 성분에 미생물 생육에 필요한 산소와 영양성분인 질소와 인산무기염류가 함께 하면 바이오 필터 매체에 박테리아가 번식하게 되며, 유기 오염성분의 생물학적분해는 미생물 생육의 결과로서 탄산가스와 물로서 변환되게 된다(Govind, 1999).

퇴비(compost) 피트(peat) 및 토양(soil) 등의 바이오 필터 매체에 취기를 통과하면 미생물이 자연적으로 발생하여 취기를 생물학적으로 분해하게 된다. 바이오 필터 매체는 여러 가지 종류의 박테리아를 자연적으로 보급하며, 취기를 매체에 접촉하면 자연스럽게 영양분이 평형 상태가 된다. 미생물은 조정에 수일이 걸리며, 어느 종류는 우세하게 된다.

(7) 바이오 필터 가습

바이오 필터 매체의 수분은 바이오 필터 성능에 있어서 가장 중요한 요인이다. 취기와 바이오 필터 표면에 습도 유지와 취기로 인한 바이오 필터 건조를 방지하기 위해서 가습이 필요하다.

(8) 바이오 필터 매체 베드 위치 및 교체

바이오 필터가 피복되지 않고 건물 옆에 있으면, 바이오 필터는 건물 북쪽에 두어 직사광선을 방지하는 게 좋다. 다음으로는 동쪽과 서쪽 순서가 좋다. 매체의 수명은 3~5년이며, 매체의 교체는 압력강하가 증가하고 처리효율이 저하할 때에 실시한다(Nicolai, 1998).

(9) 기타 조건

배기팬 크기는 바이오 필터 매체 높이가 25cm 일 때에 정압이 95Pa 정도가 좋다.

축산시설의 바이오 필터 매체로서는 완숙 퇴비와 대패밥의 혼합물 중량비가 50:50이 표준이며, 대패밥은 공극을 유지하고, 퇴비는 미생물, 영양분, 수분을 유지하며, 사용기간은 3~5년 정도이다(Janni and Nicolai, 1999). 생물학적 시스템 및 최적환경 조건 등은 바이오 필터 성능을 증대한다. 취기의 조화, 가습, 냉각 또는 탈취 등은 바이오 필터에서 최적 작동 조건이 요구된다. 침출수의 증가와 부패를 방지하기 위하여 적절한 배수 처리가 중요하다.

터 기술은 저농도의 배기가스 처리에 효과적이고, 처리비용이 저렴하여 생물계폐기물 처리과정에서 배출되는 배기가스 처리에 크게 기대된다.

바이오 필터의 설계는 최대취기처리량, 오염부하농도, 배기팬 성능특성, 바이오 필터 매체 특성, 취기체류시간, 매체의 높이, 바이오 필터크기(면적), 수분조정 및 시설과 운영비용 등이 중요하다.

바이오 필터 매체의 종류, 취기 유입부하량이 바이오 필터 적용시에 가장 중요하며, 매체의 종류는 퇴비, 활성탄, 피트, 대패밥 등이 우수하다. 바이오 필터 매체는 미생물 생육환경에 적합해야 되며, 무기질 영양성분과 적정 수분을 유지하고, 매체가 분해되기 전에 장시간 활용이 가능해야 된다. 최소 압력강하를 유지하기 위하여 높은 매체의 공극율이 필요하다.

축산시설로부터 발생하는 취기의 바이오 필터 처리기술을 효과적으로 적용하기 위해서는 실제 현장실험에 앞서서 실험실 규모의 기초실험 및 파일럿 규모 실험이 필수적이다.

적 요

근래에 축산업의 급격한 대규모 전업화로써 축산환경오염이 심하여져 축사와 가축분뇨처리시설로부터 발생하는 악취의 합리적인 처리 방법과 축산환경보전에 대한 적극적인 움직임이 일어나게 되었다.

이들 변화에 대한 대응 방향으로 축산시설부터 발생하는 취기의 바이오 필터(생물학적 탈취처리) 기술 개발이 필요한 시점에 와 있다. 이를 위해서는 아래와 같은 바이오 필터 시스템의 특성을 알고 실용화 기술 보급을 관계 당국의 축산환경 정비사업 정책이 마련되어야 한다.

축산시설에서 발생하는 취기의 바이오 필

인 용 문 헌

1. Classen, J. J., J. S. Young, R. W. Bottcher and P. W. Westerman. 2000. Design and analysis of a pilot scale biofiltration system for odorous air. Transactions of the ASAE 43(1):111-118.
2. Govind. R. 1999. Biotrickling filter. Resource, May, ASAE, 2950 Niles Road, St. Joseph, MI, USA.
3. Hong, J. H., H. M. Keener and D. L. Elwell. 2000. Biofiltration using partially stabilized hog manure compost. Paper No.004095. ASAE, 2950 Niles Road, St. Joseph, MI, USA.

4. Hong, J. H. 1994. Controlling factors in open composting process. Proc. of the 12th World Congress on Agricultural Engineering, CIGR, pp. 1553-1559.
5. Janni, K. A. and R. Nicolai. 1999. Designing biofilters for livestock facilities. Livestock and Poultry Odor Workshop II. Biosystems and Agr. Engineering Dept., Univ. of Minnesota. St. Paul, MN. USA.
6. Leson, G. and A. M. Winer. 1991. Biofiltration: an innovative air pollution control technology for VOC emissions. J. of the Air and Waste Management Assoc., 41(8):1045-1054.
7. Naylor, L. M. and P. J. Gormen, 1992. Odor control by biofiltration in the Northeast. Presented at the NEWPCA Annual Meeting, January 1992, Boston, Massachusetts.
8. Nicolai, R. E. and K. A. Janni. 1999. Effect of biofilter retention time on emissions from dairy, swine and poultry buildings. paper No.994149. ASAE, 2950 Niles Road, St. Joseph, MI, USA.
9. Nicolai, R. E. 1998. Biofilter Design Information. BAEU-18, Biosystems and Agr. Engineering Dept., Univ. of Minnesota. St. Paul, MN. USA.
10. Sun, Y., C. J. Clanton and K. A. Janni. 1999. Nitrogen and sulfur balances in biofilters affected by media moisture content and gas retention time. Paper No. 994131. ASAE, 2950 Niles Road, St. Joseph, MI, USA.
11. Williams, T. O. and F. C. Miller. 1993. Part II: Biofilters and facility operations. Biocycle, 11:75-79.
12. Zeisig, H. D. and T. U. Munchen. 1987. Experiences with the use of biofilters to remove odors from piggeries and hen houses. In: Volatile Emissions from Livestock Farming and Sewage Operations. eds. V. C. Nielsen, J. H. Voorburg and P. L. Hermite, pp. 209-216. NY. Elsevier Applied Science Publishers.
13. 홍지형, 박금주, 전병태, 홍성철. 1999. 축산폐기물 자원화, 동화기술, pp. 155-167.