

# 축사내 암모니아 제거를 위한 바이오필터 시스템 개발

## Development of Biofilter System to Ammonia Removal exhausted from Livestock Facilities

조성인\*                      김명락\*                      여운영\*  
정회원                      정회원                      정회원  
S. I. Cho                      M. R. Kim                      W. Y. Yeo

### 1. 서론

육류 소비량 증가에 따른 가축 사육 두수 증가와 이에 따른 축산 분뇨 처리 문제가 심각하게 대두되고 있다. 특히 축산 환경에서 분뇨로 인해 가장 문제시되고 있는 것 가운데 하나가 악취이다. 이는 공기 중으로 확산되어 인근 사람이나 가축에게 피해를 주는 것으로 악취성분은 주변 신선한 공기에 순차적으로 희석되어 피해 범위가 확대되지 않는 것이 일반적이나 주변 지형이나 건축물의 배치, 풍향, 풍속 및 기압 등의 기상조건에 따라 넓은 범위로 확대되어 피해를 주는 경우가 많다.

소규모 양축 농가에서 발생하는 가축 분뇨는 대부분 퇴비화하여 농토에 환원함으로 재이용하고 있으나 전업화 농가에서 발생하는 가축 분뇨의 처리와 악취 문제가 커다란 난제로 대두되고 있다. 특히 돼지 분뇨는 악취가 심하게 발생함으로써 양돈장에서는 커다란 문제가 되고 있다. 악취는 사람뿐만 아니라 가축이나 인근 동식물에게도 심각한 영향을 끼치는데 돼지나 닭의 경우 대표적인 악취가스인 암모니아의 농도에 따라 성장이 둔화되거나 육질이 떨어지는 경우도 발생하며 심하면 가축의 활동이 정지되거나 호흡기 질환 등의 질병에 걸릴 우려도 있다.

앞으로 우리나라에서도 환경 기반시설을 계속 건설하여 쾌적한 환경을 유지하기 위한 정책을 마련하여 수행하고 있으며 이와 같은 환경 기반시설에서 악취문제와 같은 민원이 계속 발생하여 근무 환경이 불량하다면 그 시설에서 기대하는 소기의 성과를 얻기 힘들 것으로 사료된다.

따라서 본 연구에서는 환경 친화적인 악취 제거 미생물을 이용하여 축사내 암모니아를 제거하기 위한 pilot 규모의 바이오 필터 시스템 구성과 작동 상태 측정 및 환경 제어를 위한 장치를 개발하고 암모니아 가스를 대상으로 개발한 바이오 필터 시스템의 성능평가를 목적으로 한다.

### 2. 재료 및 방법

#### 2.1 축사내 악취성분

국내 축사의 분뇨에서 발생하는 악취물질의 화학적 성분의 농도 및 세기는 축사의 환경, 즉 계절, 시간, 온도, 습도 그리고 사용하는 퇴비나 가축 사료의 종류와 성분, 양 등에 따라 변하며 악취의 분석 방법과 이론에 따라 악취물질을 달리 구분한다. 외국의 경우 축사내에서 발생하는 악취 가스의 종류를 달리 구분한다. 외국의 경우 축사내에서 발생하는 악취 가스의 종류를 100여 가지로 분류한 보고(D. H. O'Neill, 1992)도 있으나 일반적으로 축사내의 악취라 하면 표 1과 같이 암모니아, 황화수소, 메틸메르캅탄, 아민류, 등이 있다.

\* 서울대학교 농업생명과학대학 농업기계전공

Table 1. Principal components of malodor in livestock facilities

	Ammonia	Hydrogen-sulfide	Methyl-mercaptan	Dimethyl-sulfide	Dimethyl-desulfide	Trimethyl-amine	Lowfatty
Pig	●	●	●	◎	◎	-	●
Cattle	●	●	●	◎	◎	-	●
Fowl	●	●	●	◎	◎	●	◎

● : Malodor, ◎ : Substances detected

(2) 바이오필터 개요

특정 미생물은 악취를 발생시키는 성분을 신진대사(metabolism)에 이용하여 이를 제거하거나 무해한 물질로 전환시키는 기능이 있으며, 바로 이러한 미생물을 이용하여 악취를 제거하는 것이 바이오필터다.

(3) 바이오필터 설계 변수

1) 미생물

악취 가스를 제거할 수 있는 미생물로 세균, 곰팡이류 등이 알려져 있다. 필터 반응층에서 오염물질을 생물학적으로 분해하는데 호기성 미생물이 중요한 역할을 하며, 바이오필터에서는 폐가스 속의 CO<sub>2</sub>와 같은 탄소원을 이용하여 새로운 세포를 만드는 독립 영양세균과 성장 및 세포배양을 위해 악취 가스 속의 오염물질을 탄소원으로 이용하는 종속 영양세균이 이용된다.

Table 2. Chemical reaction to remove mal-odor gas

악취 계열	화학 반응식
질소 계열	$NH_3 + O_2 + (\text{질산화 세균, Autolithotropic}) \rightarrow NO^{2-} \text{ or } NO^{3-}$
황 계열	$H_2S + O_2 + (\text{황산화 세균, Autolithotrophic}) \rightarrow S \text{ or } SO_4^{2-}$
VOCs	$HC + O_2 + (\text{VOCs 분해세균, Heteroorganotrophic}) \rightarrow H_2O + CO_2$

본 연구에 사용된 악취 제거 미생물은 농촌진흥청 산하 축산기술연구소에서 악취 제어용으로 동정 보관중인 균주로서 *Bacillus. coagulans* NLRI T-6과 *Pseudomonas. putida* NLRI S-21을 분양 받아 사용하였다.

2) 형태 및 크기

바이오필터의 크기는 유입 유량과 가스 농도로 결정되는 가스 부하에 영향을 받는다. 유입 유량이 올라갈수록 수분 손실에 의한 건조와 열량 손실의 발생이 커지며 악취 가스의 부하량과 체류 시간은 가스의 적절한 처리를 위해 필요한 여재량을 구하는데 필요하다. 그림 1은 바이오필터의 형태와 크기를 결정하는데 있어 미치는 변수들간의 상호 관계를 나타낸다.

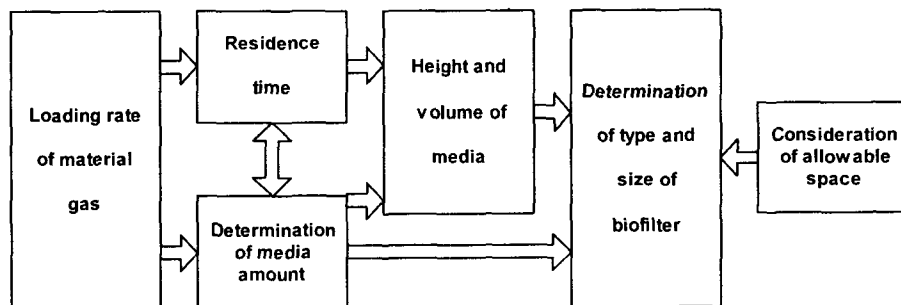


Fig. 1 Conditions affecting to types and scales of biofilters

### 3) 여재(Media)

여재는 미생물의 최적 활성을 제공하는 것으로 넓은 표면적과 낮은 유압상실, 압축에 최대로 견디는 견고한 구조 등이 요구된다. 이러한 조건을 만족시키기 위해서는 pH 7~8, 공극률 70% 이상, 크기가 직경 4mm 이상을 유지하는 여재가 적절하며 본 연구에서는 충전 여재로 왕겨(chaff)를 사용하였다.

### 4) 온도

온도는 미생물의 활성과 처리 효율에 영향을 주므로 필터내의 온도를 10~35℃ 정도로 유지하는 것이 바람직하다. 너무 높은 온도는 미생물의 신진 대사 활동이 더 이상의 효력을 상실하여 급히 떨어지며, 너무 낮은 온도는 세포의 신진대사 활동이 느려져 처리효율이 떨어지게 된다.

### 5) 함수율

바이오필터는 충전 여재에 따라 미생물 활성을 위한 최적 수분 함량이 다소 다르다. 일반적으로 미생물의 활성을 최대화할 수 있는 수분 함량은 보통 수분 보유 능력의 60~80%가 적당하다. 예비 실험 결과 왕겨의 수분 보유능력은 약 67% 정도를 나타내어 미생물의 최적 활성을 위한 수분함량을 약 40~55%로 유지하였다.

### 6) 공극률

충전 여재의 공극률은 필터 공정에 사용되는 재질의 구조적인 안전, 표면적의 변화, 그리고 흐름의 저항력 등에 함수율과 함께 큰 영향을 미친다. 비이커를 이용, 10회 반복하여 측정된 왕겨의 공극률은 평균 71%로 Deshusses, M.A가 제시한 60~80%를 만족하는 조건이다.

## (4) Pilot 규모의 바이오필터 시스템 구성

축사내의 악취 제거를 위해 그림 2와 같은 실험실 규모의 바이오필터 장치를 설계하였다. PVC 원통형 아크릴로 제작된 바이오필터는 높이 100cm, 내경 20cm로 설계하였고 내부에 왕겨를 30cm 높이로 충전하였다. 가스 유입구에는 직경 5cm의 파이프를 부착하여 송풍기와 연결하였다.

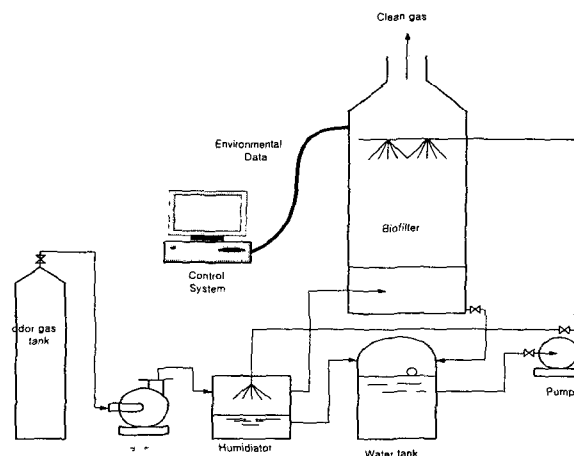


Fig 2. Biofilter system for odor removal

## 3. 결과 및 고찰

### (1) 환경 조건에 따른 필터 특성

#### 1) 온도

그림 3은 함수율 45%, 8LPM의 일정 유량에서 온도를 10℃에서 35℃까지 5℃ 간격으로 변화시켰을 때 가스의 필터 내 체류시간을 측정된 결과며, 그림 4은 온도 증가에 따른 필터 전후의 압력 손실을 측정된 결과이다.

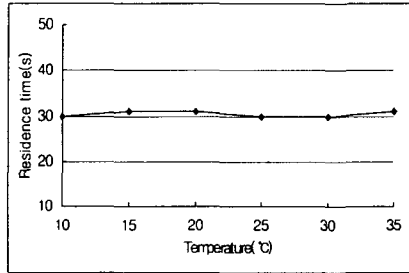


Fig 3. Residence time

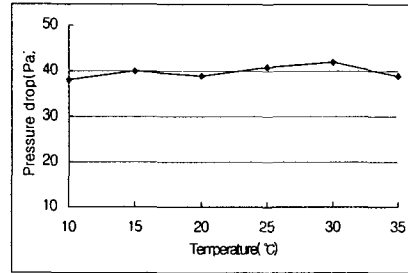


Fig 4. Pressure drop

## 2) 함수율

바이오필터 운전시 발생할 수 있는 문제점의 70% 이상이 수분함량과 관련된 것이라고 보고 된다(Auria, R). 수분함량이 과도하게 높을 경우 부분적인 혐기성을 초래하거나 압력 강하를 유발하며; 미생물의 영양염류 등이 씻겨 내려갈 우려가 있다. 반대로 수분함량이 낮을 경우 가스상 오염물질의 흡착 및 용해율이 낮아지게 된다. 그림 5와 그림 6은 시운전 기간 동안 필터내의 수분함량에 따른 체류시간과 압력 손실의 변화 정도를 보여준다.

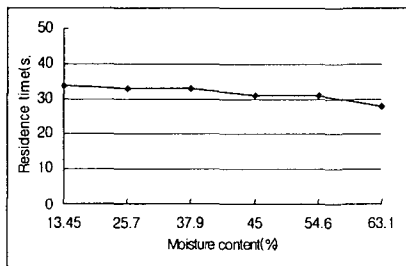


Fig 5. Residence time

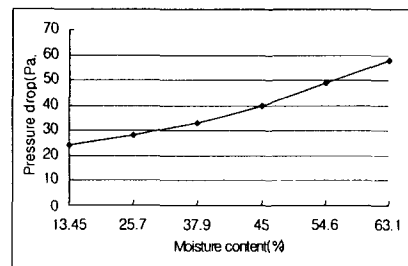


Fig 6. Pressure drop

## 3) 송풍량

송풍량은 약취 제거율과 밀접한 관련을 지닌 변수로서 송풍량이 커지면 처리량이 증가하나 필터내의 체류시간이 작아져 오히려 효율이 낮아지고 송풍량이 작아지면 통과시간이 증가하여 처리 효율이 높아지나 처리량은 줄어들게 된다. 그림 7과 그림 8은 송풍량에 따른 초기 제거율과 압력 강하를 나타낸다.

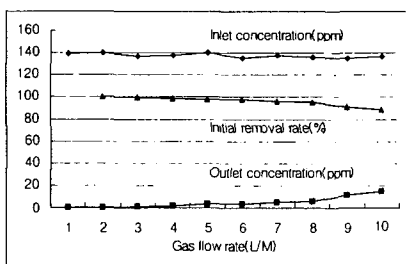


Fig 7. Initial removal rate

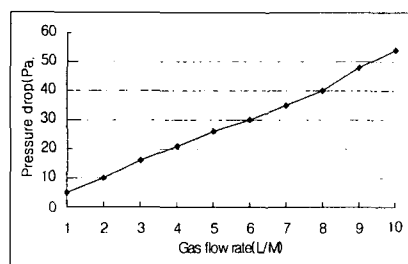


Fig 8. Pressure drop

(2) 시운전 기간 동안의 성능 평가

1) 시간에 따른 pH 변화

20일 동안 바이오필터 시스템을 시운전하면서 미생물을 투입하였을 경우와 투입하지 않은 경우의 시간에 따른 pH 변화를 측정하였다. 그림 9는 시간에 따른 pH 변화를 보여준다.

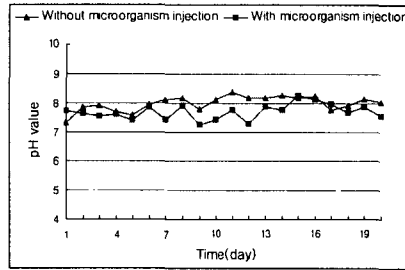


Fig 9. The pH value for operating period

2) 미생물 첨가 유무에 따른 제거율 비교

20일 동안 바이오필터 시스템을 시운전하면서 미생물을 투입하였을 경우와 투입하지 않은 경우의 시간에 따른 악취 제거율을 입·출구 농도 비교를 통해 측정하였다. 그림 10과 11은 미생물 첨가 유무에 따른 악취 제거율을 보여준다.

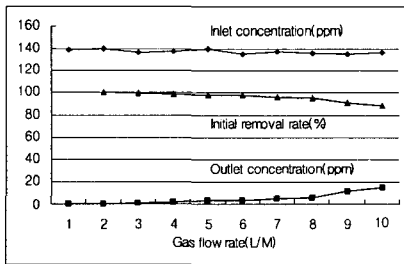


Fig 10. Removal rate without MO

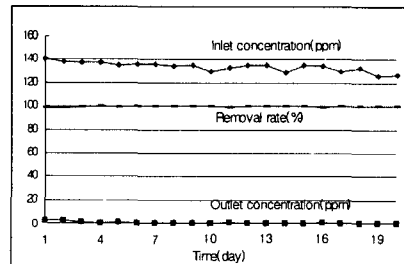


Fig 11. Removal rate with MO

4. 요약 및 결론

본 연구에서 구성한 바이오필터 시스템은 암모니아 가스를 대상으로 여러 조건에서 성능을 구명하였으며, 필터 설계시 중요 인자인 송풍량, 온도, 함수율, 압력강하, 체류시간들간의 관계를 구명하였다. 필터 내부의 온도 변화는 체류시간 및 압력손실에 거의 영향을 주지 않았으며, 함수율의 변화가 체류시간과 압력손실에 미치는 영향은 함수율 값이 증가할수록 체류시간은 감소했으며 반대로 압력손실은 증가하는 결과를 보였다. 이는 필터 내부의 공극률 변화로 생긴 결과라 판단된다. 송풍량은 바이오필터 효율에 절대적으로 영향을 미치며 송풍량이 증가할수록 체류시간은 감소하며 초기 제거율도 떨어진다. 미생물의 투입 여부에 따른 제거율은 미생물 접종을 하지 않은 경우 초기 흡착에 의한 영향으로 제거율이 높다가 시간이 지남에 따라 차츰 낮아져 90% 이하로 떨어지는 경향을 보였고, 균주를 접종한 경우에 있어서는 시운전 기간 동안 거의 100% 가까운 제거 성능을 보였다.

본 연구는 실험실에서 암모니아 가스만을 대상을 하여 실험하였다. 따라서 실제 축사에서 발생하는 다양한 성분의 악취와 농도에 대한 성능 검증과 개선에 대한 연구가 보다 장기간에 걸쳐 이루어져야 할 것이다. 또한 소요되는 에너지와 운전비용의 절감 등의 유지관리, 바이오필터와 타 방식과

의 조합, 그리고 다양한 전처리 방식의 개발 등 여러 측면에서 바이오필터 성능 개선에 대한 연구가 병행되어야 할 것으로 판단된다.

## 5. 참고문헌

1. 김원형, 정광화, 노진석. 1998. 악취 발산 감소를 위한 필터의 이용 효과. 축산시설환경:4(2)161-166
2. 정현미, 권오영, 김동빈, 류지근. 1998. 분뇨처리장의 악취물질 처리를 위한 생물 탈취탑 내 종속 영양세균의 분포 및 특성. 한국 미생물학회지, Vol. 34, No. 4, p.200-206
3. 윤세영, 이상규. 1992. 가축 분뇨 발효시 악취가스 생성억제제 사용 효과에 관한 연구. 한토비지:Vol. 25(1):62-6
4. 최형승, 이인화. 2000. 돈사에서 발생하는 악취 및 유해가스 제거 System 개발. 연구보고서. 농림부
5. D. H. O'neil, V. R. Phillips. 1992. A review of the control of odour nuisance from livestock buildings:Part 3, properties of the odorous substances which have been identified in livestock wastes or in the air around them. J. agric. Engng Res.(1992) 53, 23-50
6. D. H. O'neil, V. R. Phillips. 1992. A review of the control of odour nuisance from livestock buildings:Part 2, The costs of odour abatement system as predicted from ventilation requirements. J. agric. Engng Res.(1992) 53, 23-50
7. Auria, R., Aycaguer, C. 1998. Influence of water content on degradation rates for ethanol in biofiltration. J. Air & Waste Manag. Associ., Vol(48). pp.65-70