

돈분퇴비를 여재로 이용한 Biofilter의 암모니아 제거효율

장영수 오인환 황현섭 박상혁

Performance Analysis for Ammonia Reduction of Biofilter Using Swine Compost as Filter Material

Y. S. Jang I. H. Oh H. S. Hwang S. H. Park

Abstract

In this paper an optimum design of a lab-scale biofilter for absorbing ammonia has been proposed and analyzed. This biofilter is using pine chaff and wood shaving as filter materials. It is assumed that the biofilter can be used as a storage tank of swine manure slurry or swine stall. To evaluate the biofilter performance, the ammonia, mainly offensive odor ingredient, was measured. Swine compost was mixed with filter materials in ratio of 1:1 on weight base. Each test continued for 20 days. The ammonia emissions were reduced by 97.9% and 98.3% in case of using biofilter filled with pine chaff and compost, and wood shaving and compost, respectively. The system was tested with and without adding compost. It was found that the biofilter with wood shaving and compost has an ammonia removal efficiency of 94.1%, while biofilter with wood shaving only has 85.3%. The biofilter with wood shaving and compost showed 8.8% higher removal efficiency than that of wood shaving only. By mixing the compost, the number of microorganism was found to be about 2.3 times more than that of wood shaving only. Therefore it can be concluded that adding compost has a positive effect on the formation of microorganism.

Keywords : Biofilter, Ammonia, Wood shaving, Pine chaff, Compost

1. 서론

축산업을 영위하는 가운데 악취가 발생하며, 특히 우리나라의 경우에는 대부분 주거지와 인접하여 있기 때문에 민원 발생의 소지가 되기도 한다. 악취는 가축사육, 분뇨처리 등의 사육단계에서 발생하고 있다. 독일의 경우에 암모니아 배출은 축사 36.7%, 살포 38.6%, 저장 20.2%, 초지방목 4.5%의 순으로 나타났다(Daemmgen, 2006). 특히, 악취 문제는 공기 중에 확산되어 감각공해를 유발하며 악취의 대표적인 성분은 암모니아인데, 고농도의 경우에는 일반적으로 악취물질로서 보다는 유해가스로서 취급하여 별도로 각 유해물질에 따른 배

출허용기준을 법으로 정하여 규제하고 있다. 또한, 2005년 2월 10일에 환경부는 악취방지법을 제정, 공포하여 그동안 대기환경보전법에 의해 대기오염물질과 같은 방법으로 관리해 오던 악취를 대기오염물질과 분리하여 관리할 수 있게 하였다(환경부, 2005). 이 법에 의하면 악취관리지역으로 지정되면 악취취약지역으로 분류되어 중점관리를 받게 되어 있다. 악취성분의 제거방법으로는 수세법, 연소법, 흡착법, 약액처리법, 공기희석법, 마스킹법, 생물학적탈취법, 오존산화법 등의 물리·화학적 방법이 사용되고 있는데, 높은 탈취효율과 경제성 측면에서 최근에는 생물학적 탈취처리가 주목을 받고 있다(빈 등, 2001). 여재로는 통기성이 좋은 톱밥, 대팻밥, 옥

This paper was supported by Konkuk University in 2005. The article was submitted for publication on 2008-6-16, reviewed on 2008-7-8, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2008-7-22. The authors are Young Soo Jang, In Hwan Oh, Hyun Seob Hwang, Dept. of Biosystems Engineering, Konkuk University, and Sang Hyuk Park, Dept. of Architectural Equipment, Yongin Songdam College. Corresponding author: I. H. Oh, Professor, Dept of Biosystems Engineering, Konkuk University, Chungju, 380-701, Korea; Tel: +82-43-840-3553; Fax: +82-43-851-4169; E-mail: <ihoh@kku.ac.kr>.

수수강, 우드칩, 수피 등이 많이 사용되고 있다. 체류시간이 효율에 중요한 영향을 미치는 것으로 보고되기도 하였으며, 일반적으로 3~10초 범위를 권장한다(Janni & Nicolai, 1999; Sheridan et al., 2000; Hong, 2000; Lee, 2003). 바이오필터의 수분함량은 40~65%가 이상적이라 한다. 필터 내의 미생물 활동을 촉진하기 위하여 미생물 균주를 사용하기도 하였다(Cho et al., 2003; Hahn et al., 2003). 고가의 미생물 균주를 구입하는 것 보다 쉽게 얻을 수 있으며 신속하게 안정단계에 진입하기 위하여 돈분퇴비를 이용하고자 하였다. 본 시험에서는 대팻밥과 소나무수피를 돈분퇴비와 중량비 50:50으로 혼합하여 충전재로 사용한 biofilter를 설계하여 악취제거효율을 비교 분석하였는데, 구체적인 연구목표는 다음과 같다. 대팻밥과 소나무수피를 사용한 lab-scale biofilter를 설계하여 돈분뇨에서 발생하는 암모니아를 측정하고 충전재에 따른 암모니아 제거효율을 비교하여 충전재의 효능을 분석하였다. 충전재로 돈분퇴비와 혼합사용한 대팻밥과 소나무 수피 바이오필터의 암모니아 처리 효율을 분석하고 바이오필터에서의 미생물 집락의 형성을 파악하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. Biofilter의 제작

바이오필터의 설계인자는 문헌에 나와있는 자료를 참고로 하여 표 1에 있는 설계요인으로 설계되었으며, 그림 1에는 그 개략도를 나타내었다.

Table 1 Biofilter design parameters

	Parameter
Retention time (EBCT)	10 s
Media volume	0.3 m ³
Media depth	0.3 m
Media area	1 m ²
Unit flow rate	0.03 m ³ /m ² ·s

EBCT: Empty bed contact times

여재를 담기위한 biofilter bed는 내경 가로 1 m, 세로 1 m, 높이 0.4 m로 목재를 사용하여 제작하였으며 필터여재와 접촉하는 내부는 악취성분과 수분의 흡착을 막기 위하여 폴리에틸렌소재의 비닐로 포장하였다. 분뇨 저장탱크는 400 L 용량의 물통을 사용하여 돈분뇨 200 L를 채워 사용하였고, 악취성분의 이동관은 75 mm PVC 파이프를 제작하였다. 그림 2는 시험장치를 보여 주고 있다.

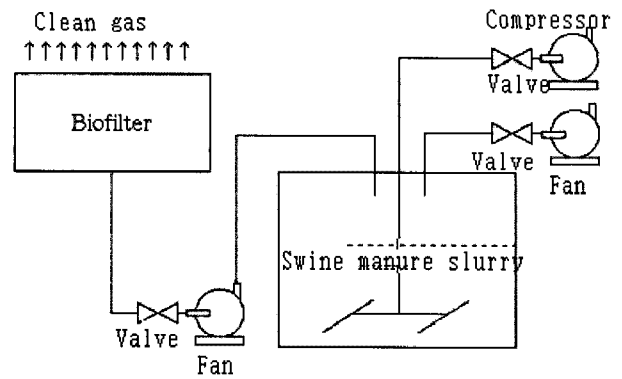


Fig. 1 Diagram of biofilter system.



Fig. 2 Biofilter system.

바이오 필터는 충전재마다 최적의 미생물성장 함수율이 다르지만 보통 충전재의 적정 함수율은 퇴비 바이오필터에서 30~60%인데, 일반적으로 낮은 함수율인 30~40%보다 높은 50% 정도의 바이오필터 수분에서 암모니아 가스 제거효율이 높게 나타났다(Hong, 2000). 시험에서는 건조기로 충전재를 완전 건조하여 함수율을 계산하여 함수율 50~60%를 유지하였고 수분함량이 기준치 이하로 내려가면 분무기를 사용하여 수분을 조절해주었다. 본 시험에서 biofilter의 충전재로는 돈분과 톱밥을 혼합하여 교반·발효시킨 퇴비를 그림 3의 국산



Fig. 3 Wood shaving.

소나무의 대뺨밥 및 그림 4의 소나무수피와 중량비 50:50으로 혼합하여 사용하였다. 소나무수피의 파쇄는 잔가지파쇄기를 사용하였다.

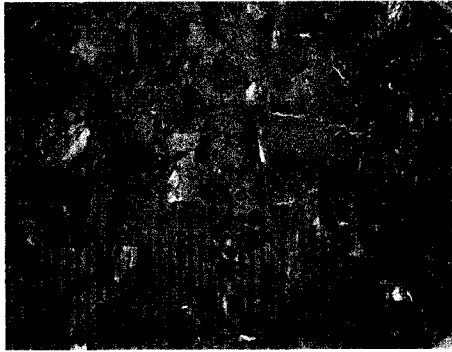


Fig. 4 Chaff of pine.

Biofilter 내에 호기성 상태를 유지하기 위하여 송풍기를 사용하여 공기를 연속적으로 주입하였다. 송풍기는 최대용량 3.7 m³/min이었으며 2대를 biofilter에 각각 사용하였고 벨브를 설치하여 유량조절이 가능하도록 하였다. 악취원은 충북 충주시 소재의 1,500두 규모의 양돈 농장의 분뇨저장조에서 돈분뇨 200 L를 채취하여 사용하였다. 돈분뇨의 침전을 막고 호기성 발효를 위하여 컴프레서를 이용하여 폭기를 시켜 냄새가 많이 나도록 하였다. 시험은 1차로 4월 26일부터 5월 15일까지, 2차 시험은 5월 22일부터 6월 8일까지 각각 20일 동안 실내에서 이루어졌다. 돈분뇨의 초기 성분은 대전에 위치한 국가공인 시험검사기관인 (주)과학기술분석센터에 의뢰하여 검사하였고 분석결과는 표 2와 같다.

Table 2 Nutrient value of swine manure slurry

Analysis items	Unit	Concentration
Nitrogen	%	0.83
Organic matter	%	2.93
Phosphate (P ₂ O ₅)	%	0.30
Potassium oxide (K ₂ O)	%	0.52
Magnesium	ppm	563.75
pH		7.40

돈분뇨의 고형물 함량은 4.8%로 측정되었다. 고형물 함량의 측정은 정밀저울(OHAUS PRECISION Plus)과 건조기(VISIOKMC-1202D3)를 사용하여 측정하였다.

나. 분석 방법

Biofilter 통과 전과 후의 공기를 포집하여 붕산용액(0.5%)

40 ml를 2중 흡수장치에 20 ml씩 각각 담고 악취성분을 1 L/min으로 5분간 흡인하여 녹였다. 이후의 암모니아 분석은 인도페놀법을 따랐고, 대기오염공정시험법을 참고하여 UV/Visible spectrophotometer를 사용하여 측정하였다. 암모니아 제거율은 아래 식으로 구하였다.

$$\text{암모니아제거율(\%)} = \frac{[(\text{통과전AC} - \text{통과후AC}) \times 100]}{\text{통과전AC}} \quad (\text{AC: Ammonia concentration})$$

또한, 전자현미경(SEM, Olympus BX60)을 사용하여 biofilter 여재로 사용하기 전·후의 변화를 관찰하였고, 충전재의 종류별로 1 g을 무균수에 10¹~10⁵ 배수로 희석하여 1 ml씩 채취하여 TSA배지(Tryptic soyagar)에 배양한 뒤 형성된 colony의 수를 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 충전재에 따른 암모니아 제거

온도는 퇴비를 혼합한 소나무수피 필터에서는 최저 10.9°C에서 최고 17.8°C, 퇴비를 혼합한 대뺨밥 필터에서는 최저 10.8°C부터 최고 18.5°C의 변화를 보였다. pH는 소나무수피의 경우 초기 6.03에서 최대 7.87까지 증가하였고 마지막 날에는 7.32로 측정되었다. 암모니아의 농도는 돈분뇨에서 14일에 125.2 ppm으로 최대치를 보였고, 20일간 전체 암모니아 농도의 평균은 58.0 ppm으로 측정되었다. 콤포스트를 혼합한 소나무수피 필터를 통과한 암모니아의 농도는 15일에 14.8 ppm으로 최대치를 보였고, 전체 암모니아 농도는 평균 1.5 ppm을 유지하였다. 콤포스트를 혼합한 대뺨밥 필터를 통과한 암모니아의 농도는 12일에 8.4 ppm으로 최대치를 보였으며, 전체 암모니아의 농도는 평균 1.0 ppm을 유지하였다(Fig. 5).

그림 6의 암모니아의 제거효율을 보면 15일과 16일에 눈에

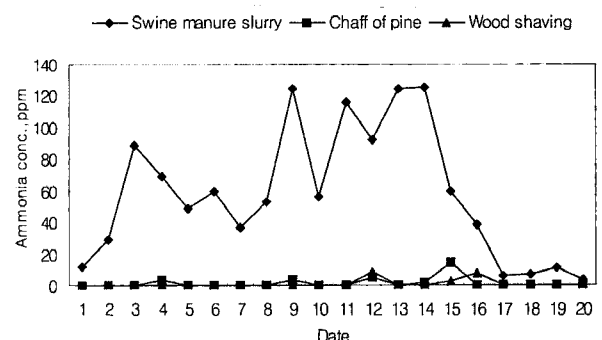


Fig. 5 Concentration of ammonia before and after filtration.

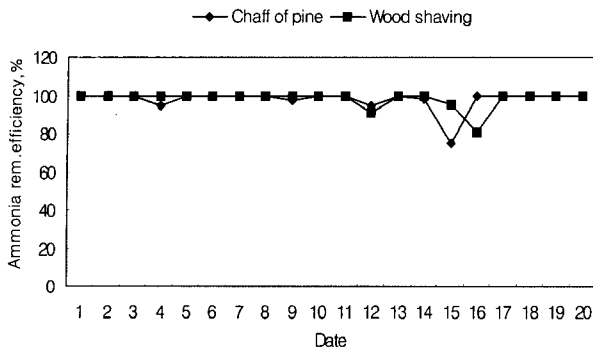


Fig. 6 Ammonia removal efficiency of chaff of pine and wood shaving with compost.

떡게 떨어지는데 그 이유는 돈분뇨의 암모니아 농도가 낮게 발생되었기 때문이다. 전체 암모니아 제거효율의 평균은 소나무수피를 사용한 필터에서 97.9%와 대팻밥을 사용한 필터에서 98.3%로 나타났으며 양 재료에서 공히 우수한 제거효율을 보였다.

Table 3 Reduction rate of ammonia by biofilter with compost in different filter material

	Average AC before and after biofilter (ppm)		Average reduction rate (%)
	Before	After	
Pine chaff	58	1.5	97.9
Wood shaving	58	1.0	98.3

이와 유사한 실험의 암모니아 제거효율을 보면 소나무수피의 경우 한 등(2003)의 소나무수피와 펠라이트의 7:3 혼합 biofilter를 이용한 99.06%의 암모니아 제거효율보다는 낮게 측정되었고, 이 등(2004)의 부속수피와 펠라이트의 7:3 혼합 biofilter를 이용한 96.1%의 암모니아 제거효율보다는 높게 측정되었다. 대팻밥의 경우 서(1992)의 톱밥과 대팻밥의 2:1 혼합 biofilter를 이용한 95%의 암모니아 제거효율과 Sun 등(2000)의 wood chip과 콤포스트의 혼합 biofilter를 이용한 90%의 암모니아 제거효율보다 다소 높게 측정되었다.

나. 돈분퇴비 첨가 유무에 따른 암모니아 제거

돈분뇨 온도는 최저 16.3°C부터 최고 21.7°C, 돈분퇴비를 혼합한 대팻밥 필터는 최저 16.4°C부터 최고 21.5°C, 혼합하지 않은 대팻밥 필터는 최저 16.6°C부터 최고 21.3°C를 나타내었다. pH는 돈분뇨에서 초기 7.62에서 최대 8.39까지 증가하였다가 다시 6.72로 감소하였다. 돈분퇴비를 혼합한 대팻밥의 경우에 초기 6.12에서 최대 8.29까지 증가하였고 최종일은

6.35로 측정되었다. 혼합하지 않은 대팻밥의 경우에는 초기 6.13에서 최대 9.16까지 증가하였다가 최종일은 8.63으로 되었다.

암모니아의 농도는 돈분뇨에서 12일에 246.8 ppm으로 최대치를 보였고, 20일간 전체 암모니아 농도의 평균은 123.0 ppm으로 측정되었다. 돈분퇴비를 혼합한 대팻밥 필터를 통과한 암모니아의 농도는 19일에 28.4 ppm으로 최대치를 보였고, 전체 암모니아 농도는 평균 6.6 ppm을 유지하였다. 돈분퇴비를 혼합하지 않은 대팻밥 필터를 통과한 암모니아의 농도는 12일에 52.4 ppm으로 최대치를 보였으며, 전체 암모니아의 농도는 평균 15.8 ppm을 유지하였다. 돈분퇴비를 혼합하지 않은 경우에 변화가 심한 것을 알 수 있다(Fig. 7).

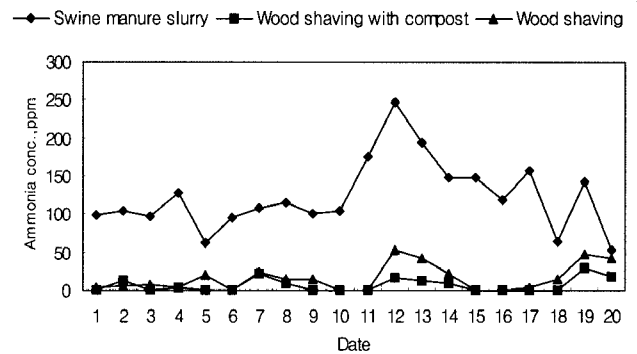


Fig. 7 Concentration of ammonia in wood shaving with and without compost.

그림 8을 보면 돈분퇴비를 혼합한 대팻밥 필터의 경우 안정된 암모니아 제거효율을 보인 반면에 돈분퇴비를 혼합하지 않았을 경우에는 변화의 폭이 큰 것을 알 수 있다. 암모니아의 제거효율은 돈분퇴비를 혼합한 대팻밥을 사용한 필터에서 평균 94.1%와 혼합하지 않고 그냥 대팻밥만 사용한 필터에서 평균 85.3%로 나타났으며, 돈분퇴비를 혼합한 필터가 혼합하

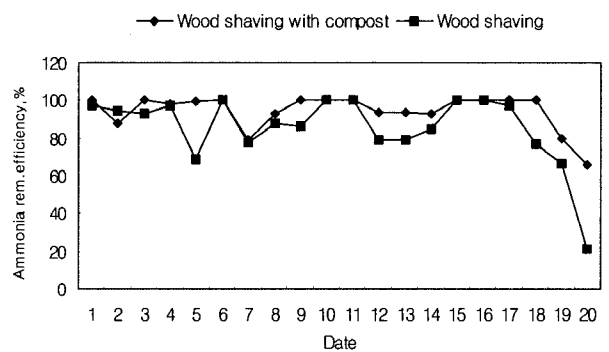


Fig. 8 Ammonia removal efficiency of wood shaving with and without compost.

지 않은 필터보다 암모니아 제거효율이 8.8% 높게 측정되었다.

Table 4 Reduction rate of ammonia by biofilter using wood shaving with and without compost

	Average AC before and after biofilter (ppm)		Average reduction rate (%)
	Before	After	
Wood shaving + compost	123	6.6	94.1
Wood shaving only	123	15.8	85.3

이와 유사한 실험의 암모니아 제거효율을 보면 Sun 등(2000)은 wood chip과 콤포스트의 혼합물 바이오필터를 이용하여 25%부터 90%까지의 암모니아 제거효율을 보여 본 실험의 측정치보다 낮은 암모니아 제거효율을 보인 반면 강 등(2000)은 콤포스트와 polyurethane foam의 50:50 혼합물 바이오필터를 이용하여 82일간 운전하여 유입 암모니아 농도 80 ppm 일 때 100%의 제거율을 보여 본 실험의 측정치 보다 높게 나타났는데 이는 충전재의 차이에 있다고 판단된다. 또한, Cho 등(2003)의 왕겨에 미생물 접종 유무에 따른 암모니아 제거율 비교에서 초기에는 두 재료 모두 100%에 가까운 암모니아 제거효율을 보이다가 미생물을 접종하지 않은 경우는 차츰 낮아져 90% 이하로 떨어지는 경향을 보였고, 미생물을 접종한 경우는 10일간의 시운전 기간 동안 거의 100%에 가까운 제거 성능을 보여 본 실험과 유사한 암모니아 제거효율의 특성을 보였다. 본 시험에서는 악취원을 가져와서 폭기를 시켜주고 악취를 발생하도록 하였으며, 20일이 지난 후에는 악취의 발생이 감소하였기 때문에 20일간을 시험기간으로 한정하였다. 바이오필터는 축산업에서 악취감소에 유용한 수단이 될 것으로 판단되었으며, 장기적인 차원에서 지속적으로 시험이 필요하다.

다. 충전재 표면의 미생물 관찰

미생물은 직접적으로 악취물질을 정화시키거나 악취물질을 먹이로 이용함으로써 추후 대과정에서 발생할 수 있는 악취물질의 양을 감소하게 한다. 악취물질을 구성하는 C, H, N, S 등의 물질 중 일부는 미생물 자체의 균체를 구성하는 성분이 되지만 대부분은 미생물에 의해 산화되어 CO₂, H₂O, NO₃⁻, SO₄²⁻ 등으로 변한다. 암모니아의 경우는 물질상의 변화나 미생물의 직접적인 작용으로 제거될 수 있는데, 특히 Nitrosomonas균의 산화작용에 의해 암모니아가 NO₂와 에너지, 산으로 되는 과정을 통해 암모니아가 제거된다. 그림 9와 10은

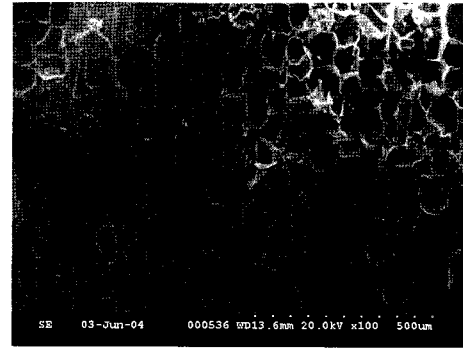


Fig. 9 Chaff of pine before biofiltration. (×100)

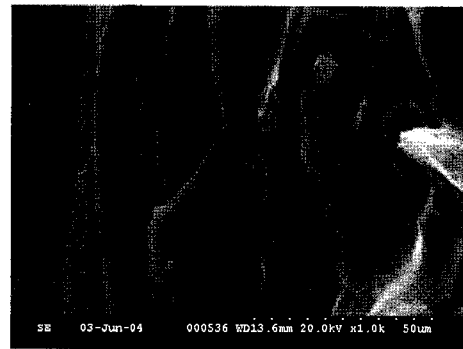


Fig. 10 Chaff of pine before biofiltration. (×1000)

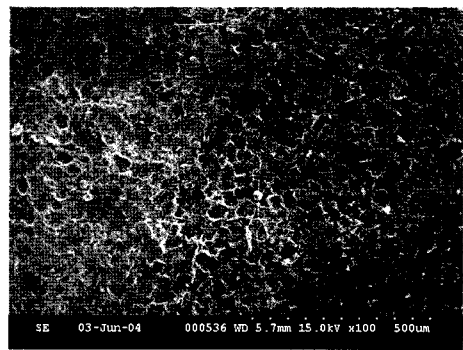


Fig. 11 Chaff of pine with compost after biofiltration. (×100)

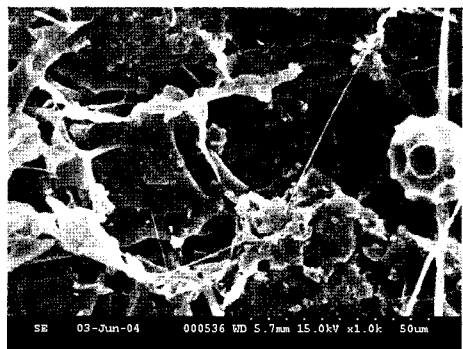


Fig. 12 Chaff of pine with compost after biofiltration. (×1000)

소나무수피를 필터 여재로 사용하기 전이고, 그림 11과 12는 돈분퇴비를 혼합한 소나무수피를 필터 여재로 사용한 후의

사진이다. 사진으로 보아 필터 여재로 사용한 후의 경우 표면이 깨끗하지 않으며 흰색의 반점들이 관찰되는데 이것으로 미루어보아 미생물이 많이 형성되었음을 알 수 있다.

충전재로 사용하기 전의 소나무수피에서는 미생물 colony가 거의 생성되지 않았고 충전재로 사용한 후의 여재에서 colony가 상당히 나타났다. 충전재 1 g을 10³으로 희석하여 배양한 colony의 수는 돈분퇴비를 혼합한 소나무수피에서 2,791개, 돈분퇴비를 혼합하지 않은 대팻밥에서 962개, 돈분퇴비를 혼합한 대팻밥에서 2,234개로 나타나 혼합해준 구에서 미생물의 활동이 활발한 것으로 나타났다(Fig. 13).

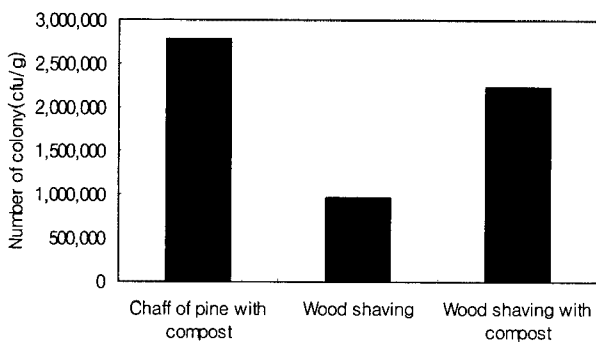


Fig. 13 Number of colony by different filter materials.

4. 요약 및 결론

소나무수피와 대팻밥을 충전재로 하고 돈분퇴비를 혼합한 biofilter의 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 돈분퇴비를 첨가한 소나무수피 biofilter에서 암모니아 제거율 97.9%, 돈분퇴비를 첨가한 대팻밥 biofilter에서 98.3%로 양 재료 공히 우수한 암모니아 제거효율을 보였다.
- (2) 돈분퇴비의 혼합 유무에 따른 시험에서는 돈분퇴비를 첨가한 대팻밥 biofilter에서 94.1%, 첨가하지 않은 대팻밥 biofilter에서 85.3%로 나타났으며 돈분퇴비를 첨가한 경우가 8.8% 더 높은 암모니아 제거효율을 보였다.
- (3) 필터여재로 사용 후에는 미생물이 흰색의 반점으로 보였고, 시료 1 g 당 colony의 형성은 돈분퇴비를 첨가한 소나무수피에서 2.791×10^6 cfu/g, 돈분퇴비를 첨가한 대팻밥에서 2.234×10^6 cfu/g, 돈분퇴비를 첨가하지 않은 대팻밥에서 0.962×10^6 cfu/g 순으로 미생물 colony가 형성되었다. 돈분퇴비의 첨가는 미생물 형성에 긍정적인 영향을 준다고 판단된다.

참고 문헌

1. Cho, S. I., M. L. Kim, Y. Y. Kim and W. Y. Yeo. 2003. Development of Biofilter System for Ammonia Removal in Livestock Facility. Journal of the Korean Society for agricultural Machinery 28(5):457-464.
2. 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.
3. Daemmgen, U. 2006. Nationaler Inventarbericht 2006 - Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft. Landbauforschung Voelkenrode, Sonderhaft 291.
4. Hahn, W. S., D. I. Chang, S. H. Bhang, Y. H. Song and H. S. Cho. 2003. The odor reducing characteristics of biofilter bed material used for reducing odor from livestock facilities. Proceedings of the KSLHE 2003 Winter Conference 123-134.
5. Hahne, J. and M. Brandes. 2002. Einsatz von biofiltern zur stallabluftbehandlung. Landtechnik 336-337.
6. Hartung, E., T. Jungbluth and W. Büscher. 2001. Reduction of ammonia and odor emissions from a piggery with biofilters. Transactions of the ASAE 44(1):113-118.
7. Hong, J. H. 2000. Biofiltration technology application for livestock and compost facility odor control. Journal of Livestock Housing and Environment 6(3):153-160.
8. 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.
9. Lee, S. H. 2003. Research trend of automation for livestock production and odor reducing technique in livestock houses. Journal of the Korean Society for agricultural Machinery 28(5):469-482.
10. Lee, S. J., D. I. Chang, H. S. Cho and S. S. Lim. 2004. Development of biofilter system for reducing odor from livestock facilities - Design of the pilot-scale biofilter system. Proceedings of the KSAM 2004 Winter Conference 9(1): 367-374.
11. Park, K. J., J. H. Hong and M. H. Choi. 2002. Performance of a biofilter for odor removal during manure composting. Agri. & Biosys. Eng. 3(2):59-64.
12. Sheridan, B. A., J. G. Colligan, T. P. Curran and V. A. Dodd. 2000. Biofiltration of exhaust ventilation air pig units. Air Pollution from Agricultural Operations. ASAE Proceeding of the 2nd International Conference, October 9-11, Des Moines, Iowa, 384-390.
13. Sun, Y., C. J. Clanton, K. A. Janni and G. L. Malzer. 2000. Sulfur and nitrogen balances in biofilters for odorous gas emission control. 2000 American Society of Agricultural Engineers 0001-2351/00/4306-1861. 43(6):1861-1875.
14. 강염석, 황재웅, 장석진, 박성훈. 2000. Biofilter를 이용한 축산

- 분뇨 중의 암모니아와 황화수소의 동시 제거. 한국생물공학회 2000 추계학술발표대회 및 Bio-Venture Fair.
15. 빈정인, 이병현, 김중균, 감상규, 이민규. 2001. 황화수소 제거를 위한 Biofilter에 관한 연구. 한국환경과학회지 10(4):287-292.
 16. 서정운. 1992. 생물학적 필터에 의한 악취성 폐기가스 중의 암모니아 제거에 관한 연구. J. of KSEE 14(1):47-57.
 17. 환경부 <http://www.me.go.kr>