

악취가스 제어를 위한 Bio-filter 담체의 특성 비교

이혜성 · 추덕성 · 정준오[†]

호서대학교 환경공학과
(2008. 1. 7. 접수/2008. 2. 17. 채택)

Characteristics of Bio-filter Support Media for the Odor Control

Hye-sung Lee · Duk-sung Chu · Joon-oh Jung[†]

Department of Environmental Engineering, Hoseo University, Asan 165, Korea
(Received January 7, 2008/Accepted February 17, 2008)

ABSTRACT

Bio-filtration utilizes microorganisms fixed to a porous medium to metabolize pollutants present in an air stream. The microorganisms grow in a bio-film on the surface of a medium or are suspended in the water phase surrounding the medium particles. Therefore, bio-filter support media play one of the most important key roles in bio-filtration of gas phase pollutants. To characterize and select the appropriate support media, gas adsorption capacity and microorganism immobilization were investigated in lab-scale experiments for the selected target support media which were compost I (compost from lab-scale process), compost II (compost from municipal facility), bark, wood chip, orchid stone and vermiculite. As odor materials, ammonia and trimethylamine were utilized. From the result of experiments, bark was superior to any other support media tested in adsorption capacity as much as 12.5 mg ammonia per 1 g bark. In trimethylamine adsorption, bark and wood chip showed a remarkable results of 21.1 and 14.1 mg/g respectively. On the other hand, microorganism fixation test determined by the count of nitrogen oxidizing microbes population, the compost II and wood chips showed the best results. Considering the characteristics of materials and the operating condition of the bio-filter, bark, wood chip, and compost II are applicable to the support media of bio-filter when they are appropriately blended on the basis of studying the media pH, packing porosity and moisture contents.

Keywords: odor control, bio-filter media, adsorption, microorganism fixation

I. 서 론

최근 소득수준의 향상과 더불어 삶의 질을 점차 중요시 함에 따라 쾌적한 생활환경에 대한 관심이 증대하고 있다. 이러한 사회적 경향을 반영하여 환경관련 민원은 꾸준히 증가 하고 있으며 악취로 인한 민원도 증가 추세에 있다.¹⁾ 이에 따라 악취물질 배출에 대한 법적 기준이 강화되고 있으며 여러 악취유발시설에서는 악취를 저감하기 위하여 안정적이고, 경제적인 기술개발의 필요성이 커지고 있다.

악취제어 방법에는 크게 물리·화학적 방법과 생물학적 방법으로 구분된다. 물리·화학적 방법은 많은 양의

오염물질을 안정적으로 처리하는 장점이 있으나 2차 오염물질의 유발, 운전상 기술적인 어려움, 고가의 유지비 등의 단점이 있다.^{2,3)} 반면 생물학적 악취제어방법 중 충진 담체 표면에 악취제어 미생물을 부착하여 생분해 처리하는 bio-filter법은 대량의 고농도 악취물질을 제어하는 능력이 우수하고 시설비 및 운전비가 저가이며 2차 처리가 불필요하다는 장점으로 악취제어에 널리 활용되고 있다. 그러나 bio-filter는 담체의 특성 및 미생물 조성 등에 민감하며 악취물질의 100% 제어는 곤란한 것으로 알려져 있다.^{4,5)}

Bio-filter는 미생물의 화학물질 생분해 능력을 이용하여 제어하는 기술로서 악취가스가 충진 담체표면에 흡착 및 흡수되는 과정과 흡착/흡수된 물질이 생물막 내부로 이동되어 미생물에 의해 분해되는 두 가지 연속적인 과정으로 구성된다.

일반적으로 bio-filter에 적용되는 담체의 조건은 높은

[†]Corresponding author : Environmental Engineering major, Hoseo University
Tel: 82-41-540-5742, Fax: 82-41-540-5748
E-mail : jojung@hoseo.edu

표면적(다공성), 보수성, 낮은 압력손실, 내구성, pH 완충능력, 미생물의 고정능력 및 경제성 등이 고려되고 있다. 따라서 bio-filter를 활용하여 악취제어를 하기 위하여 충전되는 담체의 역할이 매우 중요하며 담체 종류와 충전 방법 등에 대한 연구가 필요하다.⁶⁻⁸⁾

최근 초탄(peat moss), 진주암(perlite), 황성탄, 제오라이트를 함유한 polyethylene, polypropylene 등 다양한 물질들을 담체로 활용하기 위한 연구가 진행되었다.⁹⁻¹²⁾ 그러나 이들 연구는 실험실 혹은 실규모에서 bio-filter의 운전조건의 변화에 따른 담체의 악취제어 효율 파악에 중점을 두었으며 담체 고유의 악취제어 특성의 연구가 부족하였다.

본 연구에서는 유기성 폐기물의 퇴비화 과정에서 발생하는 악취가스 중 대표적으로 암모니아 및 트리메틸아민을 대상으로 bio-filter에 의한 생물학적 악취제어에 사용 가능한 담체를 선정하였다. 이를 위하여 각 담체의 물리·화학적 특성을 파악하고 실험실 규모의 컬럼 실험을 통하여 악취가스의 흡착능력과 질소화합물의 산화능력이 있는 미생물을 분리 배양하고 각 담체에 부착하여 미생물의 고정화 능력을 파악하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험 재료

악취가스 제어를 위한 담체는 bio-filter법에 적용되는 일반적 담체조건을 고려하여 유기성 물질로 2종의 퇴비, 원예용 바크, 실규모 퇴비화 시설에서 수분 조절제로 쓰이는 나무칩을 선정하였다. 2종의 퇴비 중 퇴비 I은 실험실 규모의 퇴비화 과정에서 얻어진 부산물이며, 퇴비 II는 C사의 퇴비화 시설의 부산물을 사용하였다. 무기성 물질로는 화산재를 200~500°C로 고온 처리

하여 난 재배에 활용되는 난석과 최근 원예용 배양토로 다량 활용되는 점토광물인 질석을 선정하였다. 또한 이들의 물리·화학적 특성을 비교하기 위하여 상업용 황성탄(대정화금(주))을 실험에 포함하였으며 선정된 담체의 물리·화학적 특성 파악을 위하여 담체의 입경분포, 충전밀도, 공극률, pH 등을 측정하였다. 담체의 입경분포는 해양환경공정시험법에 따라 체거름하여 누적 입경분포로부터 평균입경을 측정하였다. 담체의 충전밀도는 폐기물의 겉보기 밀도 측정에 준하여 컬럼에 각 담체를 기준부피까지 충전하고 일정높이(10 cm)로 3회 자유낙하를 시켜 육안으로 부피의 변화가 없을 때까지 반복하여 측정하였다. 공극률은 일정 부피로 충전된 컬럼에 충전 높이까지 물을 채워 소요된 물의 양(ml)을 측정하여 대략적으로 표현하였으며 담체의 pH는 폐기물공정시험법을 따랐다.

2. 실험방법

1) 담체의 악취 흡착능력

Fig. 1은 악취가스 흡착 실험에 대한 공정도를 나타내고 있다. 담체를 충전하는 컬럼은 실험결과를 도출하는 시간과 가스 체류시간을 고려하여 지름 3.4 cm, 높이 30 cm의 원통형 아크릴 튜브를 사용하여 제작하였다. 하충부에는 다공판을 설치하여 충전 담체를 지지하고, 하단으로부터 가스가 유입되도록 하였으며 컬럼은 각 담체를 동일 높이(22 cm)로 충전하였다. 실험에 사용된 악취가스는 퇴비화 과정에서 높은 농도로 발생하는 암모니아와 트리메틸아민을 선정하였다.^{13,14)} 액상의 ammonium hydroxide와 trimethylamine solution을 각각 정제수와 혼합하고 정량펌프를 통하여 일정유량을 glass ball로 충전된 탈기장치의 상단으로 유입하고 하단에는 공기펌프와 유량계를 통하여 일정량의 공기를

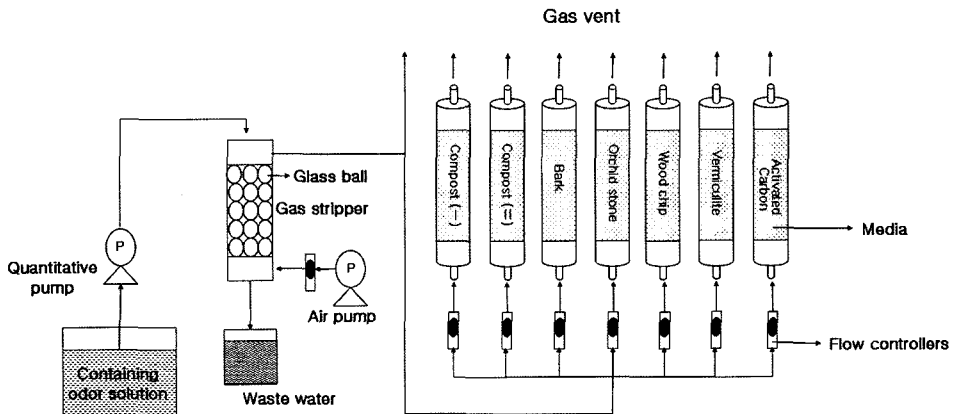


Fig. 1. Schematic diagram of odor adsorption.

주입하였다. 이러한 과정을 통하여 반응기 내에서 암모니아와 트리메틸아민의 탈기가 이루어지도록 하여 담체 하단으로 일정 농도의 가스를 유입하였다. 악취 유입농도는 실규모 퇴비화 시설에서 측정된 농도^{15,16)}와 유사하도록 각각 400 ppm, 150 ppm로 하여 0.2 l/min의 유량으로 주입하였다. 이때 가스의 체류시간은 담체의 충전 공극률에 따라 약 21-37초의 범위이다.

악취가스의 담체 유입 및 유출 농도는 각 반응기의 주입구에서 일정 시간 별로 가스 검지관을 부착한 가스펌프(GASTEC, GY-100)로 일정량을 흡인하여 측정하였다. 가스 검지관은 영국표준협회(BSI) 등으로부터 인증된 가스펌프와 동일한 GASTEC 제품을 사용하였다. 측정범위는 암모니아 10-1000 ppm, 트리메틸아민 5-200 ppm이고 이들의 측정오차는 5%로 비교적 재현성이 양호하였다.

2) 균주의 분리 및 배지 조성

질소화합물 계통의 악취물질 산화에 관여하는 유효미생물의 분리를 위하여 하수 슬러지, 계분 퇴비, 음식물 쓰레기 퇴비 및 C시 bio-filter 등으로 부터 총 50여점의 시료를 채취하였다. 채취된 시료는 멸균생리식염수(0.85% NaCl)에 넣고 충분히 교반 후 상등액 1 ml를 배지에 접종하여 10일간 30°C, 150 rpm에서 배양 후 배양액 0.1 ml를 동일배지에 재접종하여 다시 10일간 같은 조건으로 3회 반복 배양하였다. 3회 계대 배양을 반복한 후 배양액 1 ml를 취하여 Griess-Ilosvay 시약으로 NO₂의 생성능을 시험하고 발색반응이 좋은 배양액을 선별하여 평판배지에 도말 배양한 후 질소화합물 산화세균으로 분리 하였다. 사용 배지 및 분리 방법은 Table 1과 Fig. 2에 나타냈다.^{17,18)}

3) 미생물의 고정 능력

선정된 담체에 대한 미생물의 고정화 능력 시험은 담체 표면 및 공극에 미생물이 부착하여 생존하는 능력을 관찰하고자 하는 실험으로 미생물을 담체에 접종하

Table 1. Carbon and nutrient sources for cultivation medium

Component	Concentration (g/l)	Component	Concentration (g/l)
(NH ₄) ₂ SO ₄	0.47	FeSO ₄ · 7H ₂ O	2.5 mg
MgSO ₄ · 7H ₂ O	0.51	CuCl ₂ · 2H ₂ O	0.09 mg
Na ₂ HPO ₄	0.89	NaHCO ₃	1.0
NaH ₂ PO ₄	0.78	Glucose	0.4
MgSO ₄ · 7H ₂ O	0.05	pH	7.0
CaCl ₂ · 2H ₂ O	0.98 mg	Deionized water	1 l

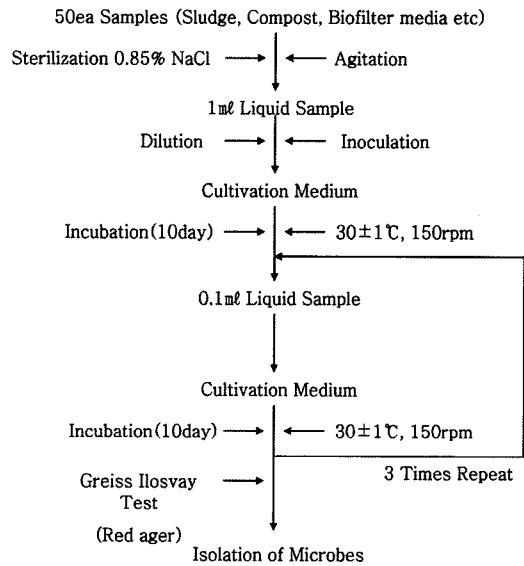


Fig. 2. Isolation procedure of nitrogen oxidizing microbes.

여 배양 후 총 균수의 변화를 측정하였다. 이를 위하여 선정된 담체를 121°C, 15분간 고압멸균하고 110°C, 2시간 동안 건조시킨 후 1.0×10⁶ CFU/ml로 배양시킨 균주를 담체가 충분히 적셔지도록 접종하였으며 접종된 배지는 30°C에서 배양하면서 총 균수의 변화를 조사하였다. 총 균수는 배양종인 담체 1g을 취하여 9 ml 멸균생리식염수(0.85% NaCl)에 충분히 교반 후 10⁷~10¹⁰로 단계 희석하여 0.1 ml를 평판 배지에 도말하고 48시간 배양 후 측정하였다.^{19,20)}

III. 결과 및 고찰

1. 담체의 물리·화학적 특성

선정된 담체에 대한 pH, 입경크기, 충전밀도, 공극률 등의 물리·화학적 특성은 Table 2에 나타내었다. 담체의 pH는 원예용 바크가 가장 낮은 pH 3.9로서 강산성을 띄고 있었고, 다른 6종류의 담체들은 pH 5.9~8.9 까지 약산성에서 약알칼리성을 나타내고 있었다. 입경 분포는 일반적인 입자의 특성과 유사하여 대체로 로그-정규분포를 하였는데 평균입경은 퇴비류가 가장 작은 반면 비교적 다양하게 분포하였으며 바크, 난석, 나무 칩 등은 평균 입경이 큰 반면 비교적 균일한 입경분포를 나타냈다. 충전 밀도는 담체의 특성에 따라 난석, 활성탄 순으로 각각 0.70, 0.48 g/cm³로 높았으며 다른 담체의 경우 0.21-0.28 g/cm³로 유사하였다. 충전 공극률은 입자의 모양, 크기 및 재질과 관계가 있어 입경이 작고 불균일한 퇴비의 공극률이 가장 낮았고 난석과 활

Table 2. Physicochemical characteristics of media

	Compost I	Compost II	Bark	Orchid stone	Wood chip	Vermiculite	Activated carbon
pH	8.2	8.4	3.9	7.9	5.9	6.0	8.9
Avg. particle size (mm)	0.68 (2.64)	0.72 (2.24)	7.3 (1.45)	5.2 (1.25)	8.5 (1.5)	1.3 (1.65)	1.5 (1.58)
Packing density (g/cm ³)	0.27	0.28	0.21	0.70	0.23	0.24	0.48
Packing porosity (%) ^a	35.6	36.4	59.5	63.4	50.4	49.6	62.5

() : Standard deviation of particle size.

성탄이 공극률이 가장 큰 것으로 나타났다.

2. 담체의 약취 흡착능력

1) 암모니아

각 담체의 암모니아 흡착특성은 Fig. 3에 나타난 바와 같이 일반적인 흡착 파괴곡선의 형태를 보이고 있다. 파괴시간(유출농도가 유입농도의 5-10%에 도달하는 시간)은 대부분의 담체가 25-32시간에 이루어졌으며 바크의 경우 약 135시간으로 월등히 길었다. 또한 모든 담체가 파괴시간에 비하여 상대적으로 파괴점에서 포화점까지의 도달시간이 길었는데(완만한 기울기 초래) 이는 암모니아에 대한 담체의 흡착대(adsorption zone) 길이가 담체 충전 높이에 비교할 때 상대적으로 길었던 것이 원인으로 파악된다. Table 3의 각 담체별 총 암모니아 흡착능과 단위무게 당 흡착능에서도 바크의

흡착능이 다른 6종의 담체에 비해 월등히 높아 약 12.5 mg/g으로 분석되었다.

2) 트리메틸아민

Fig. 4에 나타난 각 담체의 트리메틸아민 흡착특성은 암모니아와는 다소 다른 결과를 보였다(Fig. 3 참조). 전체적으로 활성탄과 나무칩을 제외하고 파괴점 이후 포화농도에 도달하는 시간이 짧게 나타나 암모니아에 비하여 흡착대는 작은 경향을 보이고 있다. 또한 퇴비류, 질석 및 난석은 흡착능이 낮거나 거의 이루어지지 않는 것으로 관찰되었으며 주로 유기성 물질인 나무칩, 바크, 활성탄에서는 상대적으로 높은 흡착특성을 나타냈다. 이는 유기질소화합물인 트리메틸아민의 특성에 기인한 것으로 판단되며 특히 암모니아의 흡착에는 특별한 반응을 보이지 않았던 활성탄이 그 경향이 두드

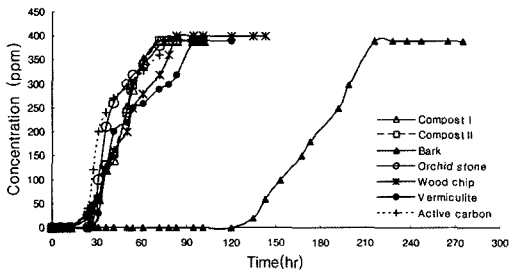


Fig. 3. Media adsorption breakthrough curve for ammonia.

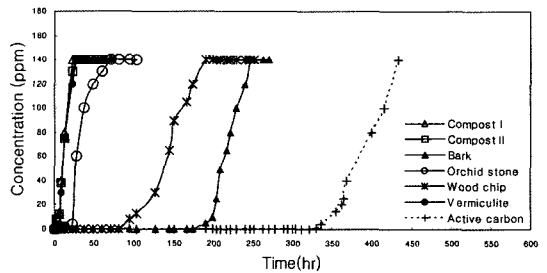


Fig. 4. Media adsorption breakthrough curve for trimethylamine.

Table 3. Ammonia adsorption capacity for different media

Material	Compost I	Compost II	Bark	Orchid stone	Wood chip	Vermiculite	Activated carbon
Total adsorption capacity (mg)	137.3	138.2	542.4	126.3	155.6	169.2	94.4
Unit adsorption capacity (mg/g)	2.5	2.5	12.5	0.9	3.6	3.7	1.3

Table 4. Trimethylamine adsorption capacity for different media

Material	Compost I	Compost II	Bark	Orchid stone	Wood chip	Vermiculite	Activated carbon
Total adsorption capacity (mg)	56.4	58.3	912.2	138.4	603.5	63.6	1617.5
Unit adsorption capacity (mg/g)	1.0	1.1	21.1	1.0	14.1	1.4	17.1

졌다. 그러나 활성탄의 경우 대부분의 유기성 악취물질의 흡착에는 탁월한 효과가 있다고 판단되나 실제 bio-filter에 적용할 경우 경제적인 측면과 활성탄의 항균성을 고려할 때 악취물질의 분해자인 미생물의 활성에 악영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다.¹⁷⁾ Table 4에 나타난 바와 같이 바크의 경우 트리메틸아민의 흡착에도 상당히 우수한 결과를 보이고 있으며 특히 단위 질량당 흡착능은 21.1 mg/g에 이르러 활성탄보다 오히려 높게 나타났다.

3. 담체의 pH 변화

각 담체별 암모니아 및 트리메틸아민 가스의 흡착 실험 전·후의 pH를 비교한 결과를 Fig. 5에 나타냈다. 담체별 pH는 대체로 가스 흡착정도에 비례하여 증가하여 바크, 나무칩, 질석(암모니아 흡착)의 pH 변화가 가장 컸으며 활성탄의 경우 트리메틸아민의 흡착에서 상대적으로 pH 변화가 컸다. 또한 담체의 특성에 따라 서로 변화의 차이를 보였는데 퇴비류와 난석의 경우 흡착능(혹은 가스 노출시간)이 적음에도 불구하고 pH 변화 정도가 달랐는데 이는 각 담체의 buffer capacity의 차이에 기인한 것으로 판단된다. 담체의 pH 증가는 혐기성의 암모니아 및 트리메틸아민의 흡착에 의한 것으로 실제 bio-filter의 담체로 적용 시 유기성폐기물의 퇴비화과정에서 발생하는 황산화물 및 황화수소, 메틸메르캅탄, 황화메틸, 이황화메틸 등과 같은 황산화물의 잠재적인 발생원이 되는 물질의 농도가 낮을 경우 담체의 pH는 지속적으로 증가하여 악취제어 미생물의 활성에 영향을 미쳐 bio-filter 운전의 제한요인으로 작용할 것으로 판단되어 적절한 pH 제어가 필요할 것으로 보인다.

4. 미생물 고정 능력

각 담체별 13일 간의 배양을 통하여 부착된 미생물 총 균수 변화를 Fig. 6에 나타내었다. 초기 각 담체별로 10⁶ CFU/ml의 균을 접종하였는데 접종 후 초기 3-4일간은 총 균수의 변화가 크지 않았으며 또한 측정값

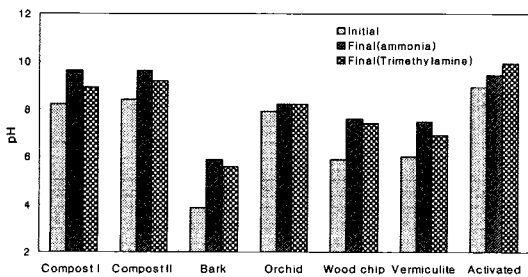


Fig. 5. pH change of media after odor gas adsorption.

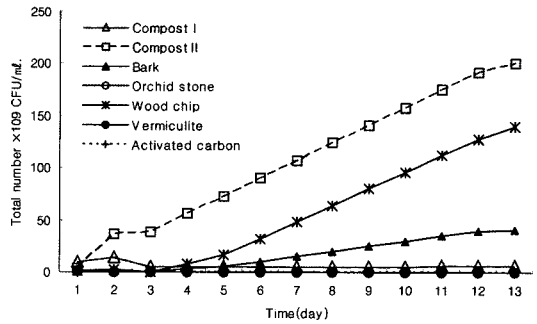


Fig. 6. Variation of nitrogen oxidizing microbes for different media.

또한 일정치 않았다. 이는 각 담체의 흡수력, 입자 공극률 차이 및 미생물의 순치기간 등이 영향을 미쳤다고 판단된다.

균 접종 후 3-4일 경과 후부터 총 균수의 변화가 담체에 따라 차이를 보이기 시작했는데 퇴비 II, 나무칩 및 바크의 경우 총 균수 변화폭이 급격히 증가하였으며, 13일간 배양 후 퇴비 II, 나무칩 및 바크의 총 균수 확인 결과 각각 2.0×10¹¹ CFU/ml, 1.4×10¹¹ CFU/ml, 4.1×10¹⁰ CFU/ml로 나타났다. 흡착능 실험에서 큰 효과를 보이지 않았던 퇴비의 우수한 미생물 고정 능력은 실험방법에서 기술된 바와 같이 총균수 측정을 위하여 각 담체별로 동일한 무게인 1g을 취하였는데 상대적으로 걸보기 밀도가 낮은 퇴비의 경우 다른 담체에 비하여 큰 부피의 시료가 취해지고 따라서 미생물 고정 가능한 표면적이 월등히 높은 것에 기인하는 것으로 판단된다. 반면 퇴비 I의 경우 물리·화학적 특성과 악취 흡착능이 유사하였음에도 불구하고 미생물 고정능력은 현격한 차이를 나타냈는데 그 결과에 대한 정확한 원인 확인이 필요할 것으로 보인다.

일반적인 bio-filter의 적정 운전조건으로 총진 담체의 공극률(약 50%), pH 범위(6-8), 압력손실(0.2-1.0 cm water/meter of bed height), 가스체류시간(15-60 sec) 등이 제시되고 있다.²¹⁾ 상기의 실험 결과를 종합하면 바크, 나무칩, 퇴비 II가 적정 담체의 대상이 될 수 있다고 판단된다. 그러나 bio-filter의 운전조건을 고려할 때 조사된 단일 담체로는 충분한 조건을 만족하지 못한다. 바크의 경우 흡착능은 우수하나 pH가 낮아 분해 미생물의 활성에 적절치 못할 것으로 판단되며 높은 공극률은 가스의 충분한 체류시간을 확보하기 곤란하다. 나무칩의 경우 bio-filter의 담체로 비교적 적절한 조건을 가지고 있으나 가스의 흡착능이 바크보다는 낮으며 특히 암모니아에는 특별한 반응을 보이지 않았다. 퇴비의 경우 또한 가스 흡착능력이 낮았으며 낮은 공극률

로 인하여 bio-filter의 높은 압력손실을 유발할 것으로 판단된다. 따라서 각 담체의 장·단점이 상호 보완될 수 있도록 적절한 담체의 혼합이 필요하다.

IV. 결 론

Bio-filter에 사용되는 담체 선정을 위한 악취가스 흡착능력과 미생물 고정화 능력 실험으로부터 다음의 결론을 얻었다.

1. 담체의 물리화학적 특성은 일반적 Bio-filter의 담체 조건으로 판단할 때 담체의 pH는 산성을 나타내는 바크를 제외하고 약산성~약알칼리성을 나타냈으며 충전 공극률은 나무칩과 질석이 약 50%로 적절하였다.
2. 담체별 악취가스의 흡착 능력 실험 결과 암모니아의 경우 바크의 흡착 능력이 12.5 mg/g로 가장 높았으며 트리메틸아민 또한 바크가 21.1 mg/g로 가장 높았고 나무칩도 14.1 mg/g로 우수하게 나타났다.
3. 담체별 악취가스 흡착 실험 전·후의 pH 변화는 가스 흡착정도(혹은 노출시간)에 비례하여 증가하였으며 담체의 특성에 따라서도 변화의 폭이 달랐다.
4. 담체별 미생물 고정화 능력은 퇴비가 200.0×10^9 CFU/ml로 월등히 높았으며 나무칩(140.0×10^9 CFU/ml), 바크(41.0×10^9 CFU/ml)도 비교적 우수한 편이었다.
5. Bio-filter 적용 실험 대상 담체 중 바크, 나무칩, 퇴비가 적정 담체의 조건을 갖추었으나 bio-filter 운전 조건을 고려할 때 각 담체의 장·단점을 상호 보완할 수 있도록 선정된 담체의 적정 혼합비율에 대한 추가적 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.
6. 선정된 담체는 퇴비화 과정에서 빈번히 발생하는 아세트알데하이드, 디메틸디설파이드, 메틸에틸케톤 등의 다양한 악취물질에 대한 적용성이 확인되어야 하며 추가적으로 pilot 혹은 실규모 bio-filter에 적용하여 검증이 요구된다. 또한 적절한 bio-filter 담체 선정을 위하여 보다 다양한 담체 후보군에 대한 적용 실험이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2007년 농촌진흥청의 지원(농업특정연구과제, 2007-0070)에 의해 수행되었으며 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Service Manual of Odor Control, Ministry of Environment Republic of Korea, 2007.
2. Auria, R., Aycaguer, A. C. and Deviny, J. S. : Influence of water content on degradation rates for ethanol in biofiltration. *Journal of the Air & Waste Management Association*, **48**(1), 65-70, 1998.
3. Son, H. K. : The treatment of volatile organic compounds using a pilot-scale biofilter. *Korean Journal of Environmental Health*, **30**(3), 245-252, 2004.
4. Song, J. H. and Ham, E. Y. : Removal of ammonia by immobilized microorganisms in complex polymer beads. *Korean Journal of Waste Management*, **23**(4), 337-343, 2006.
5. Edwards, F. G. and Nirmalakjandan, N. : Biological treatment of airstreams contaminated with VOCs, an overview. *Water Science and Technology*, **34**(3-4), 565-571, 1996.
6. Park, J. D., Suh, J. H. and Lee, H. S. : A study on the removal efficiency of VOCs and operating characteristics by using of bioscrubber trickling filter(BSTF). *Korean Journal of Environmental Health*, **31**(4), 309-316, 2005.
7. Deviny, J. S., Deshusses, M. D. and Webster, T. S. : Biofiltration for Air Pollution Control. Lewis Publishers, New York, 4-34, 1999.
8. Kim, C. I., Lee, J. H. and Park, S. J. : A study on the development of ceramic microbial carriers for biofilters to remove odor and volatile organic compounds emitted from industries. *Korean Journal of Waste Management*, **18**(1), 103-112, 2001.
9. Yoon, J. Y., Lee, S. C., Kwon, I. and Sung, C. K. : Effect of hydrogen sulfide removal by biofilter seeded with pseudomonas putida B2. *Korean Journal of Biotechnology and Bioengineering*, **16**(3), 286-289, 2001.
10. Kim, C. I., Lee, J. H., Kim, D. S., Nam, S. I. and Nam, Y. : Application of biofilter for removing malodorous gas generated from compost factory. *Journal of KoSES*, **4**(3), 45-56, 1999.
11. Jeong, G. T., Lee, G. Y., Byun, K. Y., Lee, K. M., Sunwoo, C. S., Lee, W. T., Park, C. Y., Kim, D. H., Cha, J. M., Jang, Y. S. and Park, D. H. : Study of operation condition of biofilter using fibril-form matrix for odor gas removal. *Korean Journal of Biotechnology and Bioengineering*, **20**(5), 341-344, 2005.
12. Bin, J. I., Lee, B. H., Kim, J. K., Kwon, S. H., Kam, S. K. and Lee, M. G. : A study on biofilter for hydrogen sulfide removal. *Journal of Korean Environmental Sciences Society*, **10**(4), 287-292, 2001.
13. Miller, F. C. : Composting as a Process based on the Control of Ecologically Selective Factors, In soil Microbial Ecology, 515-544, 1992.
14. Jung, J. O., Kwon, H. K., Lee, J. O. and Lee, H. S. : Characteristic of odor materials appeared during composting progress, 2006 Korean Society of Environmental Engineers Fall scientific research announcement meeting, Korean Society of Environmental Engineers, Gangwondo, 908-914, 2006.
15. Lee, J. O. : Characteristics of odor materials emitted

- during composting process of organic wastes, Graduate School of Hoseo University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master Engineering in the department of environmental engineering, 27-28, 31-42, 2006.
16. Lee, H. S., Kwon, H. K., Kim, K. H. and Jung, J. O. : Physicochemical characteristics of bio-filter media applied for the odor control of organic waste, 2007 Korean Society of Environmental Engineers Fall scientific research announcement meeting, Korean Society of Environmental Engineers, Gangwondo, 1303-1307, 2007.
 17. Nam, B. S., Ryu, W. R., Lee, Y. H., Kim, J. M. and Cho, M. H. : Isolation and characterization of ammonia and nitrite nitrogen oxidizing strains. *Korean Journal for Biotechnology and Bio Engineering*, **14**(1), 76-81, 1999.
 18. Jeong, G. T., Lee, G. Y., Lee, K. M., Lee, H. J., Ryu, H. W., Kim, D. M., Chough, S. H., Kim, S. W., Cha, J. M., Jang, Y. S. and Park, D. H. : Isolation and characterization of odor treatment bacteria. *Korean Journal for Biotechnology and Bio Engineering*, **20**(5), 345-349, 2005.
 19. Chu, D. S., Lee, S. E., Jung, J. O., Lee, J. H. and Kwon, H. K. : A study on isolation of bacteria for removal of ammonia, 2007 Korean Society of Environmental Engineers Fall scientific research announcement meeting, Korean Society of Environmental Engineers, Gangwondo, 1312-1314, 2007.
 20. Park, S. Y., Kim, D. H., Na, Y. S., Park, Y. S. and Seung, S. K. : Microscope examination of attached biofilm under anaerobic conditions. *Korean Journal of Environmental Health*, **27**(1), 100-105, 2001.
 21. Park, Y. S. and Ahn, K. H. : Preparation of ceramic support carrier and investigation of performance. *Korean Journal of Environmental Engineers*, **23**(3), 507-516, 2001.