돈사악취저감을 위한 바이오필터용 충진재선발 시험연구

Study on Selecting Biofilter Bed Material for Reducing Odor from Swine Housing

한원석* 장동일* 방승훈* 송영호* 이승주*
정회원 정회원 정회원 정회원
W. S. Hahn D. I. Chang S. H. Bhang Y. H. Song S. J. Lee

1. 서 론

현재 우리나라는 축산물 소비증가에 따른 가축사육 두수 증가와 이에 따른 축산 분뇨 및 악취 처리 문제가 심각하게 대두되고 있으며, 특히 악취발생 문제는 환경적 측면에서 최근 심각한 사회문제로 대두되고 있다. 악취처리 기술 가운데 하나인 바이오필터(Biofilter)는 운영비가 적게들고 폐수가 발생되지 않으며, 처리효율이 높은 장점들을 가지고 있다. 또한 기존의 악취처리방법과 달리 담체만을 교체해주기 때문에 폐기물 발생량이 상대적으로 적은 장점이 있다.현재 바이오필터 충진재는 여러 종류가 개발되었지만 제작단가가 고가이기 때문에 경제적 측면에서 불합리하며, 처리장비의 고정비와 변동비가 경제적으로 많은 부담이 되어 실질적인 현장적용이 어렵다고 판단되어진다.

따라서, 악취집중으로 인한 피해를 최소화하고, 축산업의 국제경쟁력 강화를 위해 경제성이 우수한 충진재를 이용한 한국형 바이오필터 시스템의 개발이 요구되는 시점에 이르렀다.

본 연구는 악취흡착성능이 우수하면서 경제적으로 우수한 충진재를 선정하고, 혼합재료의 악취제거특성을 구명하기 위하여 이루어졌으며, 그 구체적인 목적은 다음과 같다.

1. 악취흡착특성 구명을 위한 Lab-scale 바이오필터 시스템을 설계 및 제작, 작동특성 구명
2. 제작되어진 Lab-scale 바이오필터 시스템을 이용하여 단일충진재와 혼합충진재의 물리적인 악취흡착성능을 구명
3. 천연충진재의 악취제거 미생물 균주의 정착특성을 구명
4. 악취제거 미생물 균주를 접종한 혼합충진재의 악취제거성능을 평가

* 충남대학교 농업생명과학대학 농업기계공학과

2. 재료 및 방법

가. 실험 설계

먼저 문헌연구를 통하여 Lab-Scale 바이오필터 시스템의 기초적인 형상과 치수를 설계하였다. 다음으로는 바이오필터에 사용될 충진재료로서 국내조달이 용이하며, 경제성이 우수한 재료를 선정하였다.

예비실험을 통하여 제작된 칼럼의 작동특성과 안정성, 기밀성을 실험하였다. Lab-scale 바이오필터 시스템을 이용한 단일충진재와 혼합충진재의 악취흡착성능실험을 수행하였으며, 그 다음에 악취흡착성능이 다른 재료에 비하여 우수한 충진 재료를 혼합하여 악취흡착성능실험을 수행하였다.

또한, 혼합충진재에 사용된 단일재료에 대하여 악취제거 미생물균주의 정착실험을 수행하였으며, 악취흡착성능이 우수한 혼합충진재를 이용하여 악취제거 미생물균주를 접종하여 24시간동안 악취제거실험을 수행하였다.

나. 공시재료

1) 단일충진재료

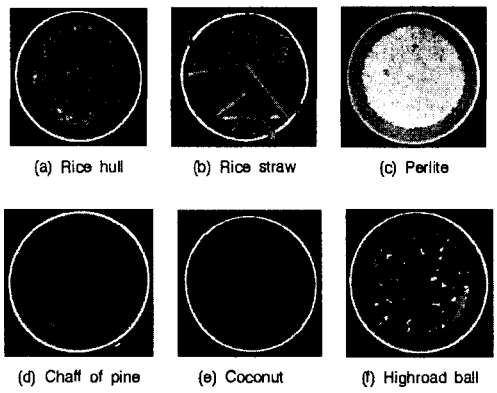

Fig 1. Picture of biofilter bed materials used in this study.

Table 1. Characteristics of filling-up single materials

	Rice-hull	Straw	Perlite	Chaff of pine	Coconut	Highroad ball
Bulk density(g/㎤)	0.124	0.052	0.2523	0.233	0.155	1.041
Moisture content(%db)	1.28	2.26	0.23	22.3	4.97	0.86
Porosity (%)	79.8	84	66.5	62	67.5	62
Compressive strength(kg/㎠)	8.57	17.32	32.1	31.25	15.9	34.24
Average pore size(mm)	long:5.5 short:2.1	long:25 short:2.5	2.2	3.8	0.04	7.4
Water absorption (*vol*%)	17.57	15.83	11.2	10.72	93.86	19.47

본 연구에서 사용된 단일충진재 재료로 그림 1에서 보는 바와 같이 국내에서 구입이 용이하고 현재까지 개발되어 사용되는 충진재료에 비하여 경제성이 유리한 (a)왕겨(Rice Hull), (b)볏짚(Rice Straw), (c)펄라이트(Perlite), (e)소나무수피(Chaff of Pine), (f)코코넛(Coconut), 하이로드볼(Highroad Ball)을 충진재료들로 선정하였으며, 선정된 바이오필터 충진재료들의 산물밀도(Bulk density)등, 물리적 특성은 표 1에서 보는바와 같다.

2) 혼합충진재료

수행된 악취흡착특성을 바탕으로 다른 재료에 비하여 암모니아와 황화수소에 대한 흡착성능이 상대적으로 높은 코코넛, 소나무수피와 펄라이트로 선정하였다. 혼합비율의 결정은 국내에서 구입이 용이한 소나무수피와 수입에 의존하고 있는 코코넛을 기준으로 코코넛과 펄라이트, 소나무수피와 펄라이트의 두 가지 기준으로 결정하였으며, 그 때의 코코넛과 펄라이트, 소나무수피와 펄라이트 각각 50%:50%, 30%:70%, 70%:30%로 혼합비율을 결정하였다. 결정된 혼합비율에 따른 재료의 그림은 그림 2와 같으며, 혼합재료의 기초적인 물성은 표 2와 같다.

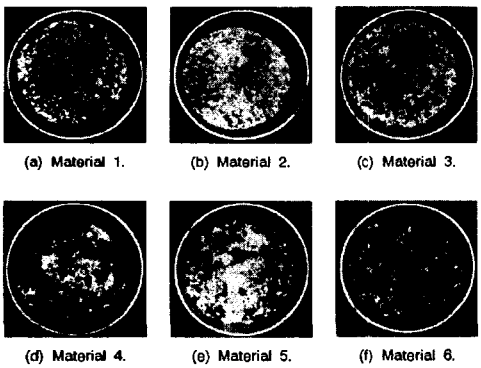

Fig 2. Pictures of mixture materials.

Table 2. Characteristics of filling-up mixture materials

	Material 1(a)	Material 2(b)	Material 3(c)	Material 4(d)	Material 5(e)	Material 6(f)
Bulk density (g/㎤)	0.21	0.25	0.18	0.22	0.24	0.19
Moisture content (%db)	0.22	0.05	0.32	0.09	0.13	0.05
Porosity (%)	64.4	67.4	63.4	65.7	70.0	68.9
Water absorption (vol%)	57.6	32.9	61.6	43.9	45.9	33.9

다. Lab-Scale 바이오필터 시스템 구성

바이오필터 충진재의 악취흡착성능실험을 위한 Lab-Scale 바이오필터 시스템의 구성도는 그림 3과 같으며, 각 장치들의 작동특성과 신뢰성은 예비실험을 통해 확인되었다. 제작되어진 충진칼럼으로 단일재료 6종과 혼합재료 6종에 대하여 악취흡착실험을 수행하였으며, 혼합재료에 사용된 단일재료는 악취제거미생물의 정착성 실험을 수행하였다.

악취흡착성능이 우수한 혼합충진재료에 암모니아 저감균 A4-2와 유황산화균 S5-5.2를 접종하여 28℃의 항온에서 순치한 후 충진재료에 접종시켜 악취제거실험을 수행하였다. 일정한 농도와 유량의 악취가스를 충진칼럼으로 투입하고 칼럼의 상하부의 Sampling Port에서 검지관을 이용하여 1분간격으로 검지관을 이용하여 악취가스의 농도, 풍속, 상대습도를 계측하였다.

3. 결과 및 고찰

가. Lab-Scale 바이오필터 시스템의 작동특성

칼럼내부에 일정한 유속을 유지시키는데 약 2분 30초가 소요되었으며, 공기압축기의 탱크 압력은 5kgf/㎠으로 일정한 압력으로 유지가 가능하였다. 이 때의 유량은 15ℓ/min 이었다

본 실험을 진행하는 동안 공급되는 악취가스의 농도, 유량, 압력은 일정하게 유지되었으며, 내부압력과 기밀도 또한 성공적으로 유지되었다.

나. 단일재료의 악취흡착성능실험 결과

왕겨, 볏짚, 코코넛, 펄라이트, 하이로드볼, 소나무수피의 악취흡착성능실험의 결과는 표 3에서 보는 바와 같다. 암모니아의 경우 코코넛, 소나무수피, 왕겨에서 흡착성능이 각각 0.158 ℓ/㎤, 0.112 ℓ/㎤, 0.054 ℓ/㎤로 나타났으며, 황화수소는 펄라이트와 왕겨에서 흡착성능이 각각 0.02 ℓ/㎤, 0.016 ℓ/㎤로 다른 재료에 비하여 우수한 것으로 나타났다.

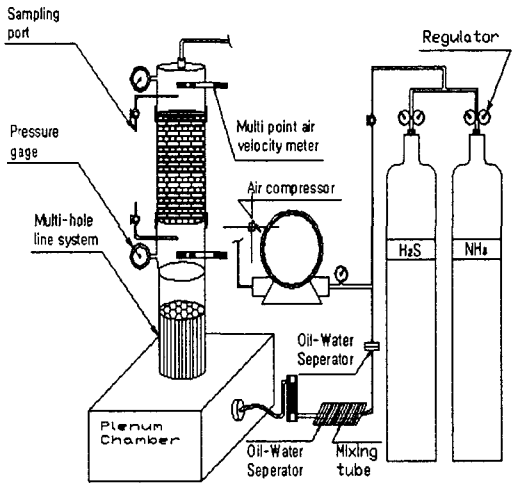

Fig 3. Overall appearance of lab scale biofilter system for experiment.

Table 3. Results of experiment for biofilter single materials

	Ammonia (NH_3:180ppm)		Hydrogen sulfide (H_2S:20ppm)		Pressure drop (kgf/㎠)	Air velocity (m/s)	Relative humidity (%)
	Quantity of reduction (ℓ/㎤)	Reduction time (min)	Quantity of reduction (ℓ/㎤)	Reduction time (min)			
Rice hulls	0.054	22	0.016	10	0.046	0.033	53.1
Straw	0.01	6	0.004	4	0.017	0.067	41.6
Coconut	0.158	61	0.01	8	0.068	0.029	53.5
Perlite	0.014	7	0.02	13	0.068	0.035	44.3
Highroad ball	0.004	3	0.003	2	0.01	0.076	45.3
Chaff of pine	0.112	45	0.015	9	0.068	0.031	53.6

다. 혼합재료의 악취흡착성능실험 결과

혼합충진재료의 악취흡착성능실험의 결과는 표 4에서 보는 바와 같다. 혼합충진재의 암모니아가스에 대한 흡착성능은 코코넛 70%와 펄라이트 30%의 혼합재료 3번과 소나무수피 70%와 펄라이트 30%의 6번에서 다른 혼합재료에 비하여 우수한 것으로 나타났으며, 흡착량은 0.123 ℓ/㎤, 0.111 ℓ/㎤로 나타났다. 황화수소가스의 0.014~0.020 ℓ/㎤의 범위에서 거의 일정하게 분포하는 것으로 나타났다. 실험 결과 풍속과 압력강하는 코코넛과 소나무수피의 비율이 높아지는 혼합재료의 경우 압력손실이 높은 것으로 나타났으며, 혼합충진재를 충진칼럼에 충진할 때의 충진방법과 압밀정도에 따라 압밀정도에 따라 공극률의 변화가 심하게 일어나기 때문에 풍속과 압력손실에 민감하게 반응하는 것으로 사료된다.

Table 4. Results of experiment for biofilter mixture materials

	Ammonia (NH_3:200ppm)		Hydrogen sulfide (H_2S:20ppm)		Pressure drop (kgf/㎠)	Air velocity (m/s)	Relative humidity (%)
	Quantity of reduction (ℓ/㎤)	Reduction time (min)	Quantity of reduction (ℓ/㎤)	Reduction time (min)			
Material 1	0.079	32	0.016	10	0.042	0.04	53.0
Material 2	0.045	19	0.014	10	0.045	0.033	53.172
Material 3	0.123	49	0.017	8	0.068	0.029	53.5
Material 4	0.055	24	0.016	11	0.046	0.033	53.0
Material 5	0.031	15	0.015	11	0.043	0.034	53.2
Material 6	0.111	42	0.020	9	0.063	0.026	53.5

라. 악취제거 미생물균주 정착특성

본 연구에서 혼합재료에 사용된 재료들에 대한 악취제거 미생물 균주의 정착특성을 구명하였다. 혼합재료로 사용될 코코넛, 소나무수피, 펄라이트의 3종의 충진재에서는 악취제거 미생물 균주가 정착하는데 그림 4, 5, 6에서 보는바와 같이 아무런 문제점이 없는 것으로 나타났다.

5. 악취제거 미생물균주를 접종한 충진재의 악취제거특성

본 실험에서는 혼합재료의 물리적인 악취흡착성능은 코코넛과 펄라이트, 소나무수피와 펄라이트의 혼합비율이 각각 70%:30%인 혼합재료 3번과 6번에서 가장 우수한 것으로 나타났며, 전량 수입에 의존하고 있는 코코넛보다는 국내조달이 용이한 소나무수피를 이용하는 것이 바람직하다고 판단되었으며, 선정된 혼합재료를 이용하여 악취제거 실험을 24시간동안 수행하였다. 그 결과 악취제거실험을 진행하는 24시간동안 악취제거효율은 그림 7과 같이 암모니아의 경우 99.06%를 보였으며, 황화수소의 경우 96.61%로 제거효율이 높은 것으로 나타났다.

Fig 4. Microorganism settled on the surface of the coconut.

Fig 5. Microorganism settled on the surface of the chaff of pine.

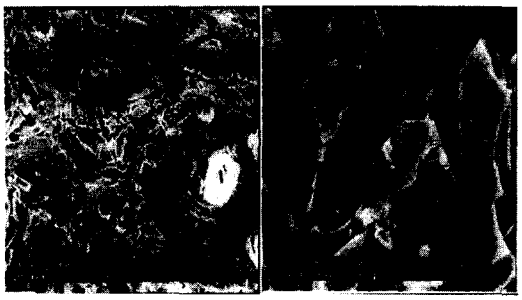

Fig 6. Microorganism settled on the surface of the perlite.

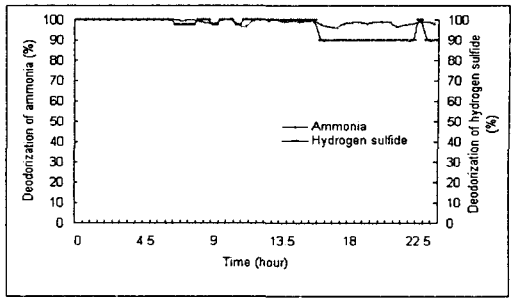

Fig 7. Efficiency of deodorization of inoculation microorganism of mixture material.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 충진재료의 악취흡착성능을 구명하기 위하여 흡착성능실험용 칼럼을 설계하고 제작하였으며, 제작되어진 칼럼으로 단일충진재와 혼합충진재에 대하여 악취흡착성능실험을 수행하였다. 그리고 선발된 충진재의 악취제거미생물 균주의 정착성을 구명하기 위한 정착실험을 수행하였으며, 선발된 혼합충진재에 악취제거미생물 균주를 접종하여 악취제거성능실험을 수행하였다. 그 연구 결과는 다음과 같다.

1. 악취흡착, 제거실험용 Lab Scale Biofilter System을 설계하였으며, 제작하였으며, 충진 칼럼은 설계시의 설정과 같이 내부압력과 기밀성은 문제점이 없는 것으로 나타났다.
2. 단일충진재는 암모니아 180ppm과 황화수소 20ppm의 악취가스에 대하여 단위체적당 악취가스 제거량은 각각 왕겨는 0.054ℓ/㎤, 0.016ℓ/㎤, 볏짚은 0.01ℓ/㎤, 0.004ℓ/㎤, 코코넛은 0.158ℓ/㎤, 0.01ℓ/㎤, 펄라이트는 0.014ℓ/㎤, 0.02ℓ/㎤, 하이로드볼은 0.004ℓ/㎤, 0.003ℓ/㎤, 소나무수피는 0.112ℓ/㎤, 0.015ℓ/㎤로 나타났으며, 혼합충진재는 암모니아 200ppm과 황화수소 20ppm의 악취가스에 대하여 단위체적당 악취가스 제거량은 각각 혼합재료 1은 0.079ℓ/㎤, 0.016ℓ/㎤, 혼합재료 2는 0.045ℓ/㎤, 0.014ℓ/㎤, 혼합재료 3은 0.123ℓ/㎤, 0.017ℓ/㎤, 혼합재료 4는 0.055ℓ/㎤, 0.016ℓ/㎤, 혼합재료 5는 0.031ℓ/㎤, 0.015ℓ/㎤, 혼합재료 6은 0.111ℓ/㎤, 0.020ℓ/㎤로 나타났다.
3. 단일재료의 악취흡착성능 실험결과 암모니아는 코코넛, 소나무수피, 왕겨에서 흡착능력이 우수하게 나타났으며, 황화수소는 펄라이트, 왕겨, 소나무수피에서 상대적으로 우수한 것으로 나타났으며, 혼합충진재는 암모니아의 경우 코코넛과 펄라이트의 비율이 70%:30%인 혼합재료 3번과 소나무수피와 펄라이트의 비율이 70%:30%인 혼합재료 6번에서 다른 혼합재료에 비하여 우수한 것으로 나타났다.

4. 코코넛과 소나무수피의 경우 암모니아가스에 대한 흡착성능은 거의 비슷한 것으로 사료되며, 코코넛의 경우 전량을 수입에 의존하고 있다는 점에서 국내 조달이 용이하며, 구입비용도 적게 소요되는 소나무수피를 사용하는 것이 경제적이라고 사료된다.
5. 마지막으로 악취제거 미생물균주를 접종한 소나무수피 70%와 펄라이트 30%의 혼합재료를 24시간동안 장기간 운전실험을 수행한 결과 암모니아 99.06%, 황화수소 96.61%의 제거효율을 보였다.

5. 참 고 문 헌

1. 박상진, 2000. 목탄을 이용한 황화수소와 암모니아 2성분 혼합악취 제거에 관한연구. 대한환경공학회 추계학술연구발표회 논문집(II), pp. 43-44
2. 이민규, 빈정인, 이병현. 2002. 활성탄 충전 바이오필터의 상향류 및 하향류 운전방식에 따른 성능비교. 2002춘계학술대회논문집. 한국냄새환경학회.
3. ASAE. 2000. ASAE STANDARD 2000. ASAE.
4. J. J. Classen, 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.
5. Martnec. M., E. Hartung, T. Jungbluth, F. Schneider. and P. H. Wieser. 2001. Reduction of gas, ordor and dust emissions from swine operations with biofilter The ASAE paper No. 014075.
6. Park. S. J. 1999. Development of biological deodorization technology for sulfur - containing malodorous mixed gases to reduce odor pollution. 환경부연구보고서.
7. Y. Sun, C. J. Clanton, K. A. Janni and G. L. Malzer. 2000. Sulfur and nitrogen balances in biofilters for odorous emission control. Transaction of the ASAE 43(6):1861-1875.