

수세탈취시스템을 이용한 축산악취저감에 관한 연구

전경호 · 최동윤 · 송준익 · 박규현 · 김재환 ·곽정훈 · 강희설 · 정종원*

농촌진흥청 국립축산과학원

A Study on Livestock Odor Reduction Using Water Washing System

Kyoung-ho Jeon, Dong-yoon Choi, Jun-ik Song, Kyu-hyun Park, Jae-hwan Kim, Jung-hoon Kwag, Hee-sul Kang, Jong-won Jeong*

National Institute of Animal Science, R.D.A.

Summary

The odor problem in the livestock is increasing by 7% annually. Most importantly, the livestock odor problem in swinery accounts for the maximum ratio (54%). In this study, we reviewed the possibility of deodorizing swinery using an odor reduction device that can be used with the water washing system. First, the study confirmed that the solubility of odor gas, which was hydrogen sulfide, was very low regardless of the contact time with solvent, but the solubility of methyl mercaptan was found to increase along with the increase in time. The solubility of other odor gases, such as dimethyl sulfide, dimethyl disulfide and ammonia, was considerably high. Consequently, it is considered that if the odor reduction device for the water washing system deodorization is used in a swinery, the time during which the exhaust gas is in contact with usable water must be extended, or solvent quantity must be expanded. However, it is predicted that although hydrogen sulfide is easily generated in the anaerobic condition, it is difficult to expect high odor reduction efficiency because this gas has low solubility in water, especially in case it is used in the deodorization of the water washing system. The result of the solubility experiment using the bench-scale device practically manufactured represented the higher odor reduction ratio than expected. This result was possible because the removal efficiency of dust particles could be reached up to 93%. Therefore, it is judged that also the odor gas absorbed on dust particles could be removed by removal of dust. Consequently, it is expected that the higher odor reduction ratio will be possible by structural improvement for increasing contact with water and odor gas.

(Key words : Solubility, Water washing deodorization, Odor reduction)

서론

하여 2003년 농가당 606(두/호)였던 사육두 수는 2008년 1,183(두/호)까지 증가하였다.

양돈농가의 사육두수는 매년 꾸준히 증가 이와 같은 사육두수의 증가에 따라 필연적으

* 농업기술실용화재단 (The Foundation of Ag. Tech. Commercialization and Transfer)

Corresponding author : Jun-ik Song, Animal Environ. Division, National Institute of Animal Science, R.D.A., 564 Omokchundong, Suwon, Korea.

Tel: 031-290-1713, Fax: 031-290-1731, E-mail: sjunik@korea.kr

2010년 3월 10일 투고, 2010년 4월 2일 심사완료, 2010년 4월 5일 게재확정

로 증가할 수 밖에 없는 것이 분뇨 발생량과 축산악취이다. 돈분뇨의 발생량은 13,656천톤이었던 2003년에 비해 2008년에는 18,891천톤으로 증가하였고 (농촌진흥청, 2009), 축산 관련 악취는 매년 7% 이상씩 지속적으로 증가하고 있으며, 여러 축종중에서도 특히 양돈장의 악취 민원이 높아 전체의 약 54%를 차지하고 있다. 이중에서도 분뇨살포와 저장 시설에 관한 악취 민원이 69%를 차지하여 매년 증가하는 사육두수와 이에 따른 분뇨량 증가에 따라 발생하는 악취의 문제가 심각해지고 있다 (환경부, 2007).

이러한 악취가스 및 휘발성 유기화합물을 제어하기 위한 방법은 물리화학적 방법과 생물학적 방법으로 나눌 수가 있다. 물리화학적 방법으로는 활성탄 및 담체에 의한 흡착 (adsorption), 촉매 및 직접연소 (oxidation or incineration), 탈취제 (deodorant), 응축법 (condensation) 등이 있고, 생물학적 방법으로는 담체의 표면에 미생물을 부착시켜 악취유발물질을 분해시키는 방법으로서 생물여과법 (biofiltration) 등이 있다. 각각의 장단점을 비교해 보면, 물리화학적 악취저감 방법은 안정적인 처리효율을 기대할 수 있으나, 높은 운전비용 및 2차 오염물질의 발생과 같은 단점이 발생 할 수 있으며, 이중에서도 특히 연소법과 같은 경우에는 연소에 의한 온실가스의

배출과 유가상승에 따른 유지비용의 불안정 등으로 실제 축산농가에서의 사용은 힘들어 보인다. 생물학적 악취저감 방법은 악취유발물질이 미생물에 의해 분해되기 때문에 2차 오염물질이 발생하지 않는 장점과 담체에 미생물막을 부착시켜 놓으면 지속적인 처리가 가능하여 유지비용이 저렴한 장점이 있으나, 악취물질의 부하량에 따라 제거효율이 안정적이지 못하며, 운전조건에 따라 제거효율이 급변하는 단점이 있다. 또한, 사계절이 뚜렷한 우리나라에서는 겨울철에는 미생물의 활성이 급격히 낮아져서 높은 처리효율을 기대하기 힘든 단점이 있다. 따라서, 적용 대상, 악취가스의 농도와 배출량, 시설 및 유지비용에 따라 적절한 선택과 운전이 필요할 것이다 (Shareefdeen, 2005; Song, 2000; 송, 2006). Fig. 1에 악취가스 및 휘발성 유기화합물의 유량과 농도에 따른 최적 적용가능기술을 제시 하였다 (van Groenestijn and Hesselink, 1993). 즉, 휘발성 유기화합물의 농도가 높고 유량이 많을 경우에는 연소법 (incineration)이 적절하고, 배출 농도가 낮고 유량이 적을 경우에는 비재생흡착 (nonregenerative)이 적절함을 추측할 수 있다. 따라서, 일반적으로 우리나라의 양돈 축사에서 발생하는 악취를 제거하기 위해서는 각각의 현장 상황에 따라 농도가 높을 경우에는 세정법 (Scrubbing), 농도

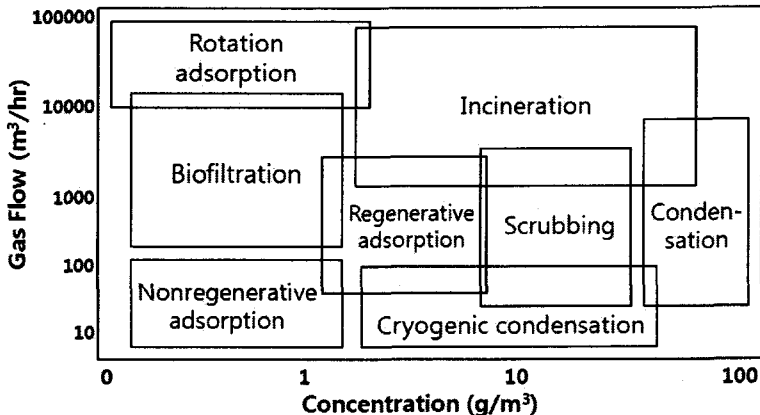


Fig. 1. Applications of various technologies for odor and volatile organic compounds treatments (van Groenestijn and Hesselink, 1993)

가 낮을 경우에는 흡착이나 생물막 여과가 적절함을 예측할 수 있다.

기존에 수행되었던 수세탈취식 악취 저감 수법에 대한 연구들은 대부분 물을 이용한 세정법과 함께 바이오 필터를 부착하여 사용하였다(Brian mills M, 1994; Schlegelmilch, 2005; Schirz S, 1977). 이렇게 두 가지 방식을 부착하여 사용하는 이유는 분무된 물에 흡착된 분진과 악취가스 물질을 바이오 필터에 흡착시키거나 필터표면에 형성된 생물막을 이용하여 분해시켜 악취저감 효율을 높이기 위한 것이다. 이와같이 두 기능을 접합시킨 장치를 이용하여 악취저감을 행할 경우에는 물 사용량이 줄어들고 순환사용이 가능하다는 장점이 있으나, 바이오 필터에 부착되어 있는 미생물의 분해능력의 변동이 커서 안정적인 처리효율을 보장하기 힘든 단점이 있다. 또, 축사에서 공급되는 분진과 악취가스만으로는 미생물의 균형있는 성장을 유도하기 어렵기 때문에, 추가로 영양분의 공급 등, 시스템의 운영에 복잡한 기술들이 요구된다(Delhomenie, 2001a, b). 이 밖에도 활성슬러지법을 응용한 생물학적 분해가 이루어지는 물탱크를 이용하여 세정수를 처리하는 시스템도 사용되고 있다(Ottengraf, 1987). 그러나, 이러한 처리수법은 개별농가에서의 소규모의 악취저감시설이 아닌 대규모의 복합처리 시설에 적절할 것으로 판단된다.

본 연구는 국내 양돈장에서 배출되는 악취가스의 저감이라는 근본적인 목적을 달성하면서도 유지비용이 저렴하고, 계절의 영향을 받지 않으며 안정적인 처리가 가능한 시스템의 개발을 위해 수행되었다. 이와같은 목적 달성을 위해 축산악취 저감의 조건에 부합하는 처리법으로서 세정법을 선택하였고, 그 중에서도 용매의 가격이 저렴하며, 쉽게 구할 수 있는 특징을 가지고 있는 수세탈취식 악취저감법을 선택하였다. 이를 위해 우선, 악취가스의 용매(물)에 대한 용해특성을 실

험을 통해 측정하여, 각각의 악취가스의 용해특성을 검토하였다. 그 후, 용해특성을 고려한 벤치스케일 실험장치를 제작, 용매인 물을 이용하여 축사로부터 배출되는 악취가스를 용해 시키고, 사용된 물은 반복적으로 사용하여 적은 비용으로도 많은 양의 악취가스를 용해시킬 수 있는 수세탈취식 악취저감 방법을 개발하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

본 연구에서 측정대상으로 사용한 가스는 악취방지법에서 규제하는 가스(2008년) 22종 중, 축산에서 주로 발생하는 암모니아와 황화합물가스 4종, 총 5종(암모니아(NH_3), 메틸메르캅탄(CH_3SH), 황화수소(H_2S), 디메틸설파이드($(\text{CH}_3)_2\text{S}$), 디메틸디설파이드($(\text{CH}_3)_2\text{S}_2$))를 선택하였다(환경부, 2007; G. Schaubberger, 2006). 악취가스를 용해시킬 용매는 다른 용질이 용해되어 실험결과에 영향을 미치지 않도록 3차 증류수를 이용하였다.

2. 실험장치 및 방법

가. 용해도 측정

용매에 대한 악취가스의 용해특성을 측정하기 위한 실험장치로서는 Fig. 2에 나타난 것과 같은 용해도 측정장치를 이용하였다. 용매를 담은 실린더는 직경 10 cm, 높이 180 cm의 원통형 아크릴 수지로 제작을 하였고, 가스의 유입구에는 산기석을 설치하여 가스가 골고루 분사되어 유입되도록 설계하였다.

용매에 대한 용해특성을 측정하기 위하여 5종의 악취가스가 각각 실린더 하부로부터 유입되도록 하였고, 실린더 유입전후의 가스를 포집한 뒤 농도를 측정하여, 두 값의 차

로부터 용매속에 용해된 악취가스의 양을 계산하였다. 또, 악취가스와 용매와의 접촉시간에 따른 용해속도를 비교하기 위하여, 실린더 내 용매의 높이를 50 cm, 100 cm, 150 cm의 3가지로 조절하며 악취가스를 통과시키고, 접촉시간의 변화에 따른 용해특성을 비교측정 하였다. 이때, 유입시키는 악취가스의 농도는 모두 10 ppm으로 하였다. 가스유입속도는 2 L/min로 고정하였고, 실험을 시작하여 용해도 측정장치 유출부의 가스 유출속도가 2 L/min이 되면 측정장치내에 가스의 흐름이 원활하게 이루어지는 것으로 판단하여 측정을 시작하였다. 이때까지의 시간은 약 10분 정도가 소요되었다.

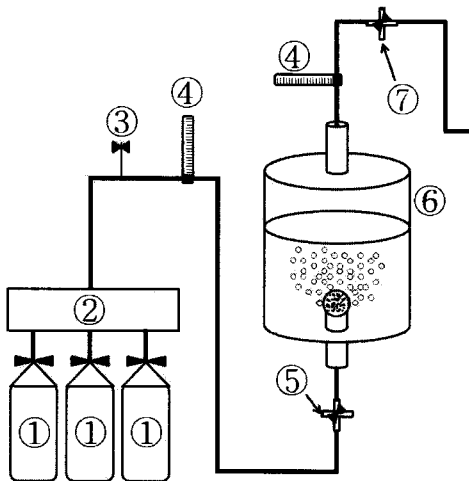


Fig. 2. Schematic diagram of the solubility measurement device ① gas tank, ② mixing tank, ③ valve, ④ flow meter, ⑤ inlet sampling port, ⑥ water cylinder, ⑦ outlet sampling port.

나. 수세말취식 악취저감기

노즐을 통해 분사된 물에 악취가스가 용해되는 원리로 개발된 악취가스저감 벤치스케일 장치를 국립측산과학원내의 양돈장에 설치하여 실험을 실시하였고, 장치의 구조는 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3의 (a)와 같은 측

사 외벽의 환기구에 (b)와 같은 악취저감 장치를 부착하였다. (b)에 나타낸 것과 같이 벤치스케일장치의 구조는 하부에는 철제수조(150*100*60cm)를 설치하고, 수조에 물은 약 480L가량을 채웠다. 수조의 바닥으로부터 필터링되어 분진 및 불순물이 제거된 물은 펌프를 이용하여 상부에 설치된 2개의 노즐을 통해 분사되도록 하였다. 벤치스케일장치의 외부를 비닐로 덮어씌워서, 배출된 악취가스를 분사된 물에 용해시킨 뒤, 이 물이 외부로 빠져나가지 않고, 다시 수조로 모일 수 있도록 하였다. 이러한 설치를 한뒤, (c)와 같이 차광막을 설치하여 악취저감효율의 측정평가지 외부의 영향을 받지 않고 배출가스와 용매와의 관계를 측정할 수 있도록 하였고, 물의 증발도 막을 수 있도록 하였다. 최종적으로는 환기구로부터 배출된 공기가 역류하여 환기팬에 부하가 걸리는 현상이 없도록, 벤치스케일 장치를 환기구 벽면으로부터 20 cm 정도 떨어진 위치에 설치하여 측사외벽과 장치 사이를 통해 빠져나가도록 하였다. 악취가스의 포집은 장치 가동전 환풍기를 통해 빠져나오는 가스와 장치를 가동시킨 뒤, 분무된 물에 용해된 뒤, 측면으로 배출되는 가스를 포집하여 분석, 비교하였다.

3. 분석방법

암모니아 가스의 측정은 악취공정시험법에서 제시한 인도페놀법으로 수행하였다. 측정하고자 하는 대상가스를 Tedlar bag에 10L 포집한 뒤, PCXR8 Universal Sample Pump (SKC, U.S.A.)를 이용하여, 포집한 악취가스를 Impingers에 담은 붕산용액(0.5%) 50 ml에 모두 용해 시켰다. 그 후, 암모니아 가스가 용해되어 있는 붕산용액 10 ml, 차아염소산 나트륨 용액 5 ml, 페놀용액 5 ml를 혼합하여, 37°C에서 1시간동안 반응시켜, UV-vis Spectrophotometer (Agilent, 8453E)를 이용하여

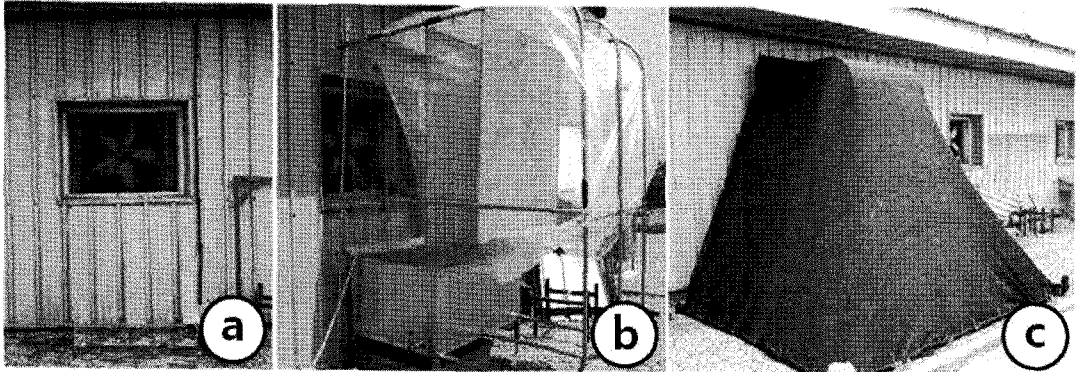


Fig. 3. The bench scale of odor reduction.

(a) Ventilator, (b) Odor reduction device by water, (c) Shading device

측정하였다. 황화합물의 측정은 측정하고자 하는 대상가스를 Tedlar bag을 이용하여 5L 포집한 뒤, Gas Chromatography (VARIAN, US/CP 3800)를 이용하여 측정하였다(국립환경과학원, 2005). 축사에서 배출되는 분진량의 측정은 부유분진 분석기(GRIMM Aerosol /1108)를 이용하여, 저감장치 설치전후의 배출가스로부터 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 용매와의 접촉시간에 따른 악취가스의 용해도

축산악취 가스 중에서 실험대상으로 선정한 5종의 악취가스를 악취가스 용해도 측정장치를 이용하여 측정하였다. 실험조건은 수온과 기온이 모두 20℃이었다. 실린더 내부의 용매의 양을 높이를 기준으로 3단계로 구분하여, 용매와 악취가스의 접촉 시간에 따른 용해도를 측정하였다. 실린더 내에서 각

각 다른 높이의 용매를 통과 할 경우, 황화합물과 암모니아의 용해율 측정결과를 Table 1에 나타내었다. 각각의 악취가스에 대한 용해율은 실험 시작 후, 2시간째의 용해율로 정리하였다.

황화수소(H₂S)의 경우에는 실린더 내의 용매 50 cm를 통과하는 동안 약 27.2%가 용해되었다. 그 후, 실린더 내의 물 높이를 100 cm와 150 cm로 조절하여, 황화수소와 물과의 접촉시간을 각각 2배와 3배로 증가 시킨 결과, 각각 24.2%와 24.9%가 용해되었다. 이 결과, 황화수소의 경우에는 용매와의 접촉시간이 증가하여도 가스의 용해율은 크게 증가하지 않는 것을 알 수 있었다. 메틸메르캅탄(CH₃SH)의 경우에는 50 cm의 용매를 통과하는 동안 약 13.9%의 악취가스가 용해되었다. 실린더 내 용매의 높이가 100 cm로 증가했을 경우에는 14.7%가 용해되어 큰 변화는 보이지 않았으나, 150 cm가 되었을 경우에는 약 52.0%가 용해되는 것을 알 수 있었다. 이는 황화수소의 경우에는 용매와 악취가스의 접

Table 1. Dissolution rate of odor gas

Height of water	H ₂ S	CH ₃ SH	(CH ₃) ₂ S	(CH ₃) ₂ S ₂	NH ₃
50 cm	27.2%	13.9%	87.2%	98.9%	99.9%
100 cm	24.2%	14.7%	87.7%	99.9%	99.9%
150 cm	24.9%	52.0%	90.0%	99.9%	99.9%

촉시시간이 증가하여도 용해율의 증가는 보이지 않았으나, 메틸메르캡탄의 경우는 용매와의 접촉시간을 증가시킬수록 용해율의 증가도 함께 일어나는 것을 알 수 있었다.

디메틸설파이드((CH₃)₂S)의 경우에는 용매의 높이가 50 cm, 100 cm, 150 cm로 증가할 경우, 용해율은 87.2%, 87.7%, 90.0%으로 변화가 없었던 것으로부터, 약 10% 정도의 가스는 접촉시간이 증가해도 용해되지 않는 것을 알 수 있었다. 이에 비해, 디메틸디설파이드 ((CH₃)₂S₂)와 암모니아 (NH₃) 가스의 경우에는 50 cm의 실린더를 통과할 경우 각각 98.9%, 99.9%의 용해율을 나타내어 용매에 쉽게 용해되는 특성을 가지고 있는 것을 알 수 있었다.

2. 악취가스 용해율 한계치

수세탈취시스템을 현장에 적용하기 위해서는 용매의 교환시기 등도 중요한 인자가 되므로, 용매에 대한 악취가스의 용해율 한계치를 알아야 한다. 그러나, 실험실규모의 실험에서 악취가스의 용해도가 포화가 될 때까지 실험을 하는 것은 어렵기 때문에, 우선 용매의 양이 가장 적은 50 cm (4L) 실린더의 조건에서 최대 2시간까지 30분 간격으로 악취가스의 용해도를 측정하여 벤치스케일 제작에 참고하였다. 다음 Table 2에 시간변화에 따른 각 악취가스의 용해도 변화를 나타냈다.

시간변화에 따른 악취가스의 용해도를 보면, 2시간째까지는 최초의 용해도가 계속 지속되고 있는 것을 알 수 있었다. 50cm까지의

실린더 용적은 약 4L이며, 이때 악취가스의 유입속도는 2L/min였다. 즉, 2시간동안 실린더로 유입된 가스량은 240L이며, 악취가스의 농도가 10 ppm 이었으므로 2시간동안 2,400 ppm의 악취성분이 유입된 것으로 계산된다. 2시간동안 용해율의 변화가 없었던 것으로부터 암모니아 같은 경우에는 2,400 ppm의 암모니아가 4L에 대부분 용해된 것으로 계산된다. 따라서, 48L 이상의 물이 있으면, 1일간 발생하는 암모니아는 충분히 제거가 가능할 것으로 판단된다. 벤치스케일 장치에서는 수조에 480L의 물을 준비하여 1주일 이상 용매의 교환이 필요없도록 설계하였다. 추후 수세탈취식 악취저감기의 제작에 있어서 용해 한계치는 용매의 교환주기와 밀접한 관계가 있으므로 꼭 필요한 인자이나, 벤치스케일 실험에서는 수세탈취시스템의 적용가능성을 파악하기 위하여 용해 안정치인 480L를 이용하였다.

3. 수세탈취시스템을 이용한 악취저감 효율 검토

물을 이용한 악취가스의 용해를 기본 원리로 하는 수세탈취식 악취저감 벤치스케일 장치를 제작하여 실험을 실시하였다. 실험조건은 수온과 기온이 약 17℃, 대기중 습도가 57%이었으며, 용매로는 수도수를 사용하였다. 제작된 악취저감기는 축산과학원내의 돈사에 설치하여 운전하였고, 이때의 돈방에는 10마리의 돼지가 사육되고 있었다. 악취저감기의 가동 전과 가동 후의 악취가스 분진 의 저감효과를 Table 3에 나타내었다.

Table 2. Dissolution rate of odor gas in 50cm cylinder

Time	H ₂ S	CH ₃ SH	(CH ₃) ₂ S	(CH ₃) ₂ S ₂	NH ₃
30 min	23.1%	11.0%	84.8%	99.9%	99.9%
60 min	24.0%	12.5%	71.3%	98.9%	99.9%
90 min	27.0%	10.5%	86.5%	95.3%	99.9%
120 min	27.2%	13.9%	87.2%	98.9%	99.9%

Table 3. Operation effect of odor reduction device

	H ₂ S	CH ₃ SH	(CH ₃) ₂ S	(CH ₃) ₂ S ₂	NH ₃	Dust Particles($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Before operation (ppm)	0.103	0.356	1.568	0.154	7.71	4,632
After operation (ppm)	0.037	0.086	0.176	0.0	1.54	320
Reduction ratio (%)	64	76	89	100	80	93

벤치스케일로 제작된 수세탈취식 악취저감기의 실험에서, 배출되는 분진의 경우에는 저감장치 가동전 4,632 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 분진이 배출되고 있었으나, 저감장치를 가동한 후에는 약 93%가 제거된 320 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 만이 배출되었다. 분진의 경우에는 물과 접촉시 100% 흡착될 것으로 예상되었으나, 7%의 분진이 외부로 배출되었다. 이것은 환기팬에 역부하가 걸리지 않도록 축사의벽과 벤치스케일 장치 사이에 둔 20cm 정도의 여유공간에서 발생, 배출된 것으로 판단되며, 배출가스가 외부로 배출되기 전 모두 용매인 물과 접촉할 수 있도록 구조적인 문제를 개선한다면, 더욱 높은 제거효율을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

악취가스의 저감율은 황화수소 64%, 메틸메르캅탄 76%, 디메틸설파이드 89%, 디메틸디설파이드 100%, 암모니아 80%로 나타났다. 디메틸설파이드, 디메틸디설파이드, 암모니아 가스의 경우에는 용해도 측정실험에서 측정된 높은 용해특성을 벤치스케일 실험에서도 얻을 수 있었다. 그러나, 용해도 측정실험에서 낮은 용해특성을 보였던 황화수소와 메틸메르캅탄은 벤치스케일 실험에서 각각 64%, 76%의 높은 저감 특성을 나타냈다. 용해도 측정 실험으로부터 예상할 수 있었던 저감효율보다도 높은 저감효율을 얻을 수 있었다.

악취가스의 저감수법에 관한 기존의 연구 중에는 우드칩, 활성탄, 점토 등을 이용하여 악취가스를 흡착시키는 수법 등이 있다. 이는 악취가스를 축사밖으로 배출시키기 전에 여러 재질의 담체를 통과시키고, 이들 담체의 표면에 형성되어 있는 공극에 악취가스가

흡착되는 원리를 이용한 수법이다 (Asao, 2002; J. Luo, 2006; 이 등, 2009). 즉, 공극이 형성되어 있는 물질들에는 쉽게 악취가스가 흡착되는 성질이 있으므로, 축사내에서 발생한 분진에도 일정량의 악취가스가 흡착될 가능성이 있을 것으로 추측된다. 본 벤치스케일 실험에서는 축사에서 배출되는 분진의 93%가 제거되었다. 따라서, 벤치스케일 가동시, 용해도 측정실험보다 높은 악취가스 용해특성을 보인 것은 벤치스케일의 높은 분진 제거 효과가 영향을 미친 것으로 추측된다. 분진 제거에 따른 악취가스 농도의 저감은 추후 더욱 연구가 필요한 부분으로 축사에서 배출분진의 성장, 흡착비율 등의 추후 조사가 필요할 것이다.

적 요

수세탈취식을 이용한 축산악취저감에 관한 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 개발된 용해도 측정장치를 이용하여 악취가스의 용해특성을 조사한 결과, 황화수소의 경우에는 용매와의 접촉 시간과 관계없이 매우 낮은 것을 알 수 있었다. 이에 비해, 메틸메르캅탄의 경우에는 물과의 접촉시간을 증가시킴에 따라 용해도도 함께 증가하는 것을 알 수 있었다. 이밖에 다른 황화합물인 디메틸설파이드, 디메틸디설파이드, 암모니아의 경우에는 매우 용해도가 높은 특성을 가지고 있었다. 따라서, 축사의 측벽에 수세탈취식 악취저감장치를 부착하여 사용할 경우에는 가능한 물과 환기가스의 접촉시간을 길게 유지시켜 주는 것이 악취저감

성능을 향상 시킬 수 있는 것을 알 수 있었다. 그러나, 혐기성 상태에서 발생하기 쉬운 황화수소와 같은 경우에는 수세탈취식을 이용할 경우, 가스의 물에 대한 용해도가 낮기 때문에 높은 악취저감 효율을 기대하기는 어려운 것을 예측할 수 있었다. 그러나, 실제 벤치스케일을 제작하여 실험한 결과 모든 가스에서 용해도 측정실험보다 높은 저감효과를 얻을 수 있었다. 또한, 수세탈취 시스템에서의 분진 저감율이 93%으로 나타나, 악취저감 효과뿐만 아니라 분진발생량도 크게 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

인 용 문 헌

1. Asao Oya, Wang Goi Iu, 2002, Deodorization performance of charcoal particles loaded with orthophosphoric acid against ammonia and trimethylamine, Carbon, 40. 1391-1399.
2. Brian mills, 1994, Review of methods of odour control, odour control methods, 147-152.
3. Delhomenie, M. C., Bibeau, L., Gendron, J., Brzezinski, R., Heitz, M., 2001a. Air treatment by biofiltration: influence of nitrogen concentration on operational parameters. Industrial Engineering Chemistry Research 40, 5405-5414.
4. Delhomenie, M.C., Bibeau, L., Gendron, J., Brzezinski, R., Heitz, M., 2001b. Influence of nitrogen on the degradation of toluene in a compost-based biofilter. Journal of Chemical Technology and Biotechnology 76, 997-1006.
5. Schauburger, G., M. Piringer and E. Petz, 2006, Odour episodes in the vicinity of livestock buildings: A qualitative comparison of odour complaint statistics with model calculations, Agriculture, Ecosystems and Environment 114, 185-194.
6. Luo, J., S. Lindsey, 2006. The use of pine bark and natural zeolite as biofilter media to remove animal rendering process odours, Bioresource Technology, 97. 1461-1469.
7. Schlegelmilch, M., J. Streese and W. Biedermann, 2005, Odour control at bio-waste composting facilities, Waste Management, 25, 917- 927.
8. Ottengraf, S.P.P., 1987. Biological systems for waste gas elimination. Trends in Biotechnology 5, 132-136.
9. Schirz S., 1977, Odour removal from the exhaust air of animal shelters, Agriculture and Environment, 3, 223-228.
10. Shareefdeen, Z. and Singh, A., 2005, Biotechnology for odor and air pollution control, Springer.
11. Song, J. and Kinney, K. A. 2000, Effect of Vapor-Phase Bioreactor Operation on Biomass Accumulation, Distribution, and Activity, Biotechnol. Bioeng., 68, 508-516.
12. Van Groenestijin, J. W. and hesselink, P. G. M., 1993, Biotechniques for air pollution control, Biodegradation, 4, 283-301.
13. 국립환경과학원, 2005, 악취공정시험법.
14. 농촌진흥청, 2009, 가축분뇨 발생량 및 주요성분 재설정.
15. 송지현, 2006, 미생물반응기를 이용한 악취 및 휘발성유기화합물 저감기술의 적용사례 및 발전방향, 대한환경공학회지, 1118-1125.
16. 이민수, 윤오섭, 송영우, 2009, 점토광물을 이용한 황화수소 제거, 한국폐기물학회지, 26. 4. 351-357.
17. 환경부, 2007, 악취민원실태분석.