

마그네시아를 이용한 돈분 폐수의 악취 저감(현장 시험)

배수호 · 유건상^{†,*}

안동대학교 토목공학과

[†]안동대학교 응용화학과

(접수 2022. 1. 28; 게재확정 2022. 2. 22)

Odor Reduction of Pig Wastewater Using Magnesia (in-situ test)

Su Ho Bae and Keon Sang Ryoo^{†,*}

Department of Civil Engineering, Andong National University, Andong 36729, Korea.

[†]Department of Applied Chemistry, Andong National University, Andong 36729, Korea. *E-mail: ksr@andong.ac.kr

(Received January 28, 2022; Accepted February 22, 2022)

요약. 본 연구는 악취 제거용 반응조를 제작한 후, 현장 시험을 통해 마그네시아(MgO)를 이용하여 돈분 폐수에서 발생하는 악취를 최대한 저감하기 위한 최적 조건을 얻고자 하였다. 이를 위해 마그네시아의 충전양, 돈분 폐수의 주입량, 폭기 방식, 폭기양, 폭기 시간이 고려되었다. 현장 시험은 돈분 폐수 저장소를 갖추고 있는 청운 가축농장에서 실시하였다. 돈분 폐수(500 kg) 무게 대비 마그네시아의 첨가량을 증가시킬수록 암모니아와 황화수소의 발생량은 점차적으로 감소하는 경향을 보였다. 현장 시험 결과, 반응조에 마그네시아를 0.8% 첨가하여 2일 동안의 폭기 시 돈분 폐수 중의 암모니아(NH₃)는 65%, 황화수소(H₂S)는 77% 감소하였다. 반응조 안의 돈분 폐수의 초기 pH는 8.2이었고 마그네시아를 0.8%까지 넣었을 때의 pH는 9.2를 나타내었다. 이러한 경향으로 비추어 볼 때, 마그네시아가 돈분 폐수 내의 pH를 점차적으로 상승시켜 약알칼리 상태로 만든다는 것을 알 수 있었다. pH가 증가함에 따라 폐수 내에 존재하는 암모니아 가스의 일부분은 공기 중으로 기화되고, 나머지 일부는 용해되어 있는 마그네슘이온, 인산이온과 화학결합한 후 침전되어 제거된다. 기존에 가축 농가의 대부분은 돈분 폐수의 악취를 제거하여 퇴비로 만들기 위해서 미생물을 활용한 6개월간의 폭기 과정을 거쳐야 했다. 대조적으로 미생물 활동에 영향이 없는 화학적 반응을 통해서 2일 내에 돈분 폐수로부터 악취를 저감할 수 있는 효과를 현 연구를 통해 입증하였다.

주제어: 돈분 폐수, 악취, 마그네시아, 암모니아, 황화수소

ABSTRACT. In this study, we tried to obtain the optimal conditions to reduce odors generated from pig wastewater using magnesia (MgO) through in-situ test after producing a reactor for removing odors. For this purpose, the filling amount of magnesia, the injection amount of pig wastewater, the aeration method, the aeration amount and the aeration time were considered. The field experiment was conducted at Cheongwoon Livestock Farm, which has a pig wastewater reservoir. As the amount of magnesia added to the weight of wastewater (500 kg) increases, the amount of ammonia (NH₃) and hydrogen sulfide (H₂S) generated tended to gradually decrease. As a result of the test, ammonia and hydrogen sulfide in the pig wastewater decreased up to 65% and 77%, respectively, for 2 days aeration after 0.8% of magnesia was added to the reaction tank. The initial pH of the pig wastewater in the reactor was 8.2, and the pH was found to be 9.2 when magnesia was added up to 0.8%. In the light of this trend, it can be known that magnesia gradually increases the pH in the pig wastewater and makes it weakly alkaline. As the pH increases, part of the ammonia gas present in the pig wastewater vaporizes into the air and the remaining part is removed by precipitation after chemical bonding with dissolved magnesium ions and phosphate ions. In order to remove the odor of pig wastewater and turn it into compost, most of the existing livestock farms go through a six-month aeration process using microorganisms. In contrast, the current study proved the effect of removing odors from pig wastewater within 2 days through chemical reactions that do not affect microbial activity.

Key words: Pig wastewater, Odor, Magnesia, Ammonia, Hydrogen sulfide

서론

국민들의 소득수준 향상으로 인해 육류에 대한 소비가 가파르게 증가하고 있고 더불어 축산 농가 또한 지속적

로 확대되고 있다. 그러나 축산업이 성장함에 따라 부수적으로 악취를 유발하는 퇴비의 무분별 한 배출 등의 문제가 발생되어 환경적으로 부정적인 영향을 끼치고 있다. 농림축산식품부는 지난 10년 전부터 지속 가능한 친환경

축산업 구현을 위해 증장기 가축분뇨 자원화 대책, 예를 들어 친환경축산 표준 모델개발, 환경 친화적 축산업 조성, 가축분뇨 에너지화, 축산 악취관리 역량 강화 등을 내세운바 있다.^{1,2} 그러나 이러한 대책에도 불구하고 가축분뇨에서 발생하는 악취에 대한 환경개선이 실제로 기대에 미치지 못하고 있는 것이 현실이다. 현재 까지도 가축분뇨를 환경용량을 초과하여 배출하거나, 시설의 부적절한 처리, 기준에 적합하지 않은 퇴비의 살포 등으로 인해 인근 지역 주민들은 발생하는 악취로 인한 피해에 상시 노출되어 있다.³

국내외 관련 시장 현황을 살펴보면 가축분뇨 발생량은 2018년 기준으로 위탁 처리가 43,805 m³/day로서 위탁 처리비용은 지역에 따라 1만원~3만원으로 책정되어 있다. 이를 연간으로 합산하면 대략 일천억 이상의 처리비용이 들고, 그 외 정화 처리와 자원화 처리 비용을 합할 경우 연간 5천억 원 이상의 시장을 형성하고 있다. 가축분뇨의 처리 목적의 직접적인 처리 비용 외에도 각종 민원 문제와 분뇨의 유실에 따른 수질오염에 의한 간접적인 처리 비용을 합할 경우 수조 원 규모의 시장을 가질 것으로 예측된다. 일반적으로 가축분뇨는 악취가 심한 폐기물로서 이를 친환경퇴비로 만들기 어렵다는 인식을 지니고 있다. 그러나 이와 같은 사고를 바꾸어 축산농가의 새로운 수입원으로 자리매김할 수 있도록 가축분뇨를 악취가 없는 퇴비로 생산할 수 있는 기술을 개발할 필요성이 있다.

현재까지 가축분뇨를 퇴비로 전환하는 공정에서 악취를 저감하기 위한 다양한 방법이 상당수의 문헌을 통해서 알려져 왔다.⁴⁻¹¹ 악취를 저감하기 위한 여러 방법 중 생물학적 방법이 우선적으로 고려되어 왔다. 이 방법은 악취 제거 용 미생물을 가축분뇨에 첨가하여 활성화시킴으로써 악취를 감소시키는 방식이다. 그러나 미생물은 주위 환경 조건에 따라 생리적으로 형태적으로 다양하게 변화하고 활성을 장기간 유지시키기 어렵기 때문에 실제로 현장에서 적용하기가 어려운 단점을 지니고 있다. 다른 방법으로는 응집제와 같은 화학약품을 활용하는 것이다. 이 방법은 우선 응집제를 이용하여 부유물을 제거하고 폭기 과정을 거친 후 분리막으로 처리하는 것이다. 그러나 이 방법 역시 악취 저감에 효과가 적으며 가축 생산비용에 비해 처리비용이 더 높게 산정되어 현실적인 가축분뇨 처리 기술로서의 역할을 담당할 수 없는 상황이다. 이외에도 가축분뇨에 황산철을 살포하는 방법이 알려져 왔다. 이 방법은 황산철을 가축분뇨에 살포 시 2가 철(Fe²⁺)이 3가 철(Fe³⁺)로 산화되면서 악취와 같은 오염원을 일시적으로 산화시켜 악취를 저감시키는 방식이다. 그러나 이 방법 또한 고농도의 가축분뇨로부터 발생하는 악취를 처리하기에는 과량의 황산철이 주입 되어야 함으로 경제성이 없

으며 과량의 황산철 주입에 따른 이차 오염이 발생하여 처리 후 잔류물을 퇴비로 사용하기가 부적합하다. 이에 대안으로서 생석회나 소석회를 활용한 방법이 있다. 이 방법은 생석회나 소석회를 가축 분뇨에 주입하여 분뇨를 강한 알칼리로 만들어 폭기 시킴으로써 암모니아와 같은 악취를 일시에 휘발시키고, 부패 미생물을 모두 사멸시켜 악취가 더 이상 발생되지 않도록 하는 방법이다. 그러나 이 방법은 분뇨의 pH를 12까지 상승시켜 부패 미생물뿐만 아니라 모든 유효미생물을 모두 사멸시킴으로서 2차 미생물 발효에 의한 친환경적인 부숙을 기대하기 어렵고 강한 알칼리성을 나타냄으로 농지에 직접 살포할 경우 작물에 위해를 가한다.

현재 축산 농가에서 가축분뇨는 1차 탈수 과정을 거쳐 분은 톱밥과 혼합하여 발효과정을 거쳐 퇴비로 사용하고, 노(가축폐수)는 6개월간 폭기 시켜 냄새를 제거하여 액비화 시킨 후 농지에 직접 살포하고 있다. 가축폐수 처리시스템을 구축하지 못한 축산 농가에서는 지역 하수종말처리장과 연계하여 처리하고 있는데, 오염 부하량이 높은 가축폐수의 경우 하수종말처리장에서 꺼리고 있는 실정이다. 지역별로 위생사업소를 설치하여 공동으로 가축폐수를 처리하는 경우도 있으나 단순히 폭기 과정을 거쳐 처리하는 것이 유일한 수단으로 사용되고 있어 악취 발생 차단에는 큰 효과를 볼 수 없는 실정이다.

본 연구는 우선적으로 반응조를 제작한 후 실제 현장에서 마그네시아(MgO)를 사용하여 돈분 폐수로부터 발생하는 악취를 저감하는 것을 목표로 하고 있다. 이 후 악취가 제거된 돈분 폐수가 혐기성 발효에 의해 악취가 재발생 되지 않도록 최적의 악취제거 시스템을 개발하는 것이다. 최종적으로는 악취가 제거된 돈분 폐수를 톱밥에 살포하여 자연적으로 건조 및 부숙 시킴으로써 악취로부터 자유로운 친환경 가축분뇨 퇴비를 제조하는 기술을 확보하고자 하였다.

실험방법

악취 제거제 제조 및 시험 조건

연구에서 사용한 악취 제거제는 마그네사이트(MgCO₃) 천연석을 800 °C에서 활성화 시켜 입자 크기가 10~100 μm 인 분말 형태의 마그네시아이다. 현장의 사전 실험을 통해서 입상 마그네시아는 대용량 처리 시 반응조 내부에 스케일로 인한 배관 막힘과 같은 예상하지 못한 문제점 발생으로 인해 운용이 불가능 하였다. 본 실험은 분말 마그네시아(돈분 폐수 함량 대비 0.1~0.8 w/w%)를 반응조에 들어 있는 돈분 폐수와 접촉시켜 돈분 폐수의 pH를 변화시키면서 폭기하여 암모니아를 비롯한 악취 성분들을 제



Figure 1. Reaction tank for pig wastewater treatment.

거시시킬 수 있는 최적의 조건을 찾고자 하였다. 이 과정에서 악취 제거제의 충전량, 돈분 폐수의 주입량, 폭기량, 폭기 시간 등을 고려하여 돈분 폐수로부터 악취를 최대한 저감시킬 수 있는 최적조건을 도출하였다.

악취 제거용 반응조 제작

돈분 폐수의 반응조(Fig. 1)는 1회에 1톤 정도의 돈분 폐수를 처리할 수 있는 사각형 형태로 제작하였고 내부에는 폭기 장치를 장착하였다.

현장 시험장소

현장 실험은 포항에 위치한 청운농장에서 수행하였다(Fig. 2). 청운농장은 돼지를 사용하는 농장으로서 돈분 폐수 저장조를 자체적으로 갖추고 있다. 본 연구는 청운농장의 저장조로부터 펌프와 호스를 이용하여 반응조로 돈분 폐수를 유입하였다.

시료 분석

반응조 안의 돈분 폐수에 악취 제거제를 주입하고 내용물은 하부에서 공기를 주입하여 폭기 시킨 후 시간의 경과에 따라 시료를 채취하였다. 모든 시험은 정확성을 위하여



Figure 2. Field test site for pig wastewater treatment.



Figure 3. Place for turning pig wastewater into compost.

3회 반복하여 수행하였다. 시료 채취 후, 유도결합플라즈마/원자방출분광기(ICP/AES, 720 series, Agilent Technologies, USA)를 이용하여 돈분 폐수 중에 존재하는 인이나 칼슘과 같은 구성성분들과 중금속을 분석하였다. 돈분 폐수 중에 함유되어 있는 양이온과 음이온의 분석은 이온 크로마토그래프(IC, DX-600, Dionex, USA)로 측정하였다. 암모니아(NH_3)와 황화수소(H_2S)의 분석은 시료 5 mL를 1 L 테들러백에 넣어 24시간 방치한 후 휘발된 공기를 100 mL 포집하여 해당 가스 검지관으로 측정하였다. BTX(벤젠, 톨루엔, 자일렌)과 같은 휘발성 유기화합물(VOC)은 테들러백의 공기를 흡착관(Tenax TA tube)에 흡착시켜 열탈착 가스 크로마토그래프/질량분석기(ATD GC/MS, Clarus 690 GC, SQ8T MS, PerkinElmer, USA)를 이용하여 분석하였다.

돈분 폐수의 부숙 및 퇴비화

악취가 제거된 돈분 폐수를 가축분퇴비로 제조하기 위하여 부숙장에 톱밥을 평평하게 쌓았다. 부숙장(Fig. 3)은 10 m² 크기로 비가림 시설을 하고 상부에 악취가 제거된 돈분 폐수를 시간 당 0.5 ton을 분무할 수 있도록 스프레이 설비를 하였다.

결과 및 고찰

중금속 분석

돈분 폐수를 가축분퇴비화 시키기 위해서는 중금속과 관련된 가축분퇴비 공정 규격에 적합하여야 한다. 이 규격에 의하면 비소(As) 45 mg/kg 이하, 카드뮴(Cd) 5 mg/kg 이하, 수은(Hg) 2 mg/kg 이하, 납(Pb) 130 mg/kg 이하, 크롬(Cr) 200 mg/kg 이하, 구리(Cu) 360 mg/kg 이하, 니켈(Ni) 45 mg/kg 이하, 아연(Zn) 900 mg/kg 이하로 규정하고 있다. 본 연구에서 악취 제거제의 첨가량에 따라 돈분 폐수 중의

Table 1. Heavy metal content in pig wastewater

Time	Addition of odor remover (%)	Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Ni	Pb	Zn
		(mg/L)									
10 min	0.10	0.0433	ND	ND	ND	0.0254	0.2024	ND	ND	ND	0.0696
	0.20	0.0336	ND	ND	ND	0.0344	0.2292	ND	ND	ND	0.0873
	0.40	0.0212	ND	ND	ND	0.0294	0.3465	ND	ND	ND	0.0726
	0.80	0.0203	ND	ND	ND	0.0279	0.6001	ND	ND	ND	0.0648
	0	0.0307	ND	ND	ND	0.0281	0.1097	ND	ND	ND	0.0753
2 days	0.10	0.0289	ND	ND	ND	0.0291	0.21	ND	ND	ND	0.073
	0.20	0.0396	ND	ND	ND	0.0319	0.2181	ND	ND	ND	0.0767
	0.40	0.0284	ND	ND	ND	0.0312	0.3818	ND	ND	ND	0.0772
	0.80	0.0205	ND	ND	ND	0.0255	0.4956	ND	ND	ND	0.061
	0	0.0304	ND	ND	ND	0.0305	0.1112	ND	ND	ND	0.0734

ND: Not detected.

중금속을 분석한 결과(Table 1), 비소, 카드뮴, 크롬, 수은, 니켈, 납은 불검출 되었고 구리, 아연, 철, 알루미늄이 다소 미량으로 검출되었으나 가축분퇴비 허용 기준치보다는 월등히 낮은 수준이었다. 전반적으로 돈분 폐수는 악취 제거제를 최고 0.8% 첨가하여 2일간 폭기시켜도 유해 중금속 기준치 이하를 나타내었다.

가축분퇴비를 제조하기 위해서 돈분 폐수가 건조 시 건조중량을 1% 내외로 계산하고, 돈분 폐수 10톤을 톱밥 1톤에 혼합하여 가축분퇴비를 생산한다는 가정하에 계산한 결과 모든 중금속이 허용기준치의 10% 이하로서 중금속 속의 의한 가축분퇴비화의 문제점은 전혀 없었다. 이와 같이 악취 제거제를 사용하여 양돈 폐수의 악취를 제거하여도 이후에 진행될 가축분퇴비 공정 진행에 중금속 문제가 발생되지 않음을 확인할 수 있었다.

인, 칼슘 등 분석

돈분 폐수에 악취제거제 첨가 전과 후의 구성성분들 (P, S, K, Mg, Na, Ca)의 농도에 대한 수치를 Table 2에 나타내었다. Table 2에서 보는 바와 같이, 인(P)은 악취 제거제를 넣고 2일 경과 후에 대략 평균해서 80% 이상 감소하였고 황(S), 칼륨(K), 소듐(Na)은 변화가 없었다. 칼슘(Ca)은 악취 제거제 첨가 전에 비하여 첨가 후 상당량 감소하는 경향을 보였다. 이는 악취 제거제가 돈분 폐수와 반응하여

pH를 상승시킴에 따라 칼슘(Ca)과 인(P)이 반응하여 인산 칼슘(CaHPO₄·3H₂O) 형태로 침전되어 제거된 것으로 추론된다. 마그네슘(Mg)은 악취 제거제의 주성분으로 예상한 대로 악취제거제를 넣기 전보다는 후에 양이 많이 존재하고 있음을 관찰할 수 있었다. 이러한 마그네슘은 돈분 폐수에서 암모니아와 인산과의 화학반응을 하여 생성물인 스투루바이트(NH₄MgPO₄·6H₂O) 형태의 난용성염을 생성 시킴으로서 암모니아를 제거 할 수 있다고 판단된다. 모든 시험 결과는 3회에 걸친 반복적 실험에서도 유사하게 나타났다.

양이온과 음이온의 분석

악취 제거제의 시간별, 첨가량에 따른 돈분 폐수 중의 양이온의 농도변화를 알아보았다. 양이온의 농도는 악취 제거제를 0%, 0.1%, 0.2%, 0.4%, 0.8% 첨가와 10분과 2일 동안의 폭기 후의 변화를 관찰한 결과로서 Table 3에 요약하였다. Table 3에서 보듯, 악취 제거제를 첨가하기 전의 암모늄이온(NH₄⁺)의 농도는 760.3 mg/L이었으며 비록 악취 제거제의 양을 늘린다 해도 10분 동안의 폭기 후에 암모늄 이온의 농도는 첨가 전의 농도와 비교하여 거의 변화를 보이지 않았다. 그러나 2일 동안의 폭기 후에는 악취 제거제의 함량이 높아질수록 암모늄이온의 농도가 점차적으로 감소되는 경향을 보였다. 칼슘이온(Ca²⁺)의 경우

Table 2. The concentration (mg/L) of ingredients in pig wastewater before and after the addition of odor remover

Number	Reaction	P	S	K	Mg	Na	Ca
1	Before	183	543	2,563	178	572	3,537
	After 2days	38	437	2,541	611	657	770
2	Before	123	978	2,585	191	581	1,666
	After 2days	16	401	2,596	615	590	397
3	Before	124	588	2,560	207	577	1,646
	After 2days	16	343	2,636	558	595	399

Table 3. Changes in cations by reaction of pig wastewater and odor remover

Time	Addition of odor remover (%)	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
		(mg/L)		
10 min	0.0	760.3	18.0	4.90
	0.1	771.5	11.2	54.1
	0.2	777.7	12.1	92.4
	0.4	760.4	16.1	182.1
	0.8	763.5	9.9	383.8
2 days	0.0	724.3	18.1	5.80
	0.1	693.9	12.1	57.3
	0.2	696.7	19.6	98.8
	0.4	580.3	11.9	189.8
	0.8	497.3	20	382.4

에는 악취 제거제를 투입하고 10분과 2일 경과 후에도 악취 첨가량의 증가에 따라 감소되기도하고 증가되기도 하여 뚜렷한 특징을 보이지 않았다. 마그네슘이온(Mg²⁺)의 농도는 10분과 2일 경과 후 둘다 악취제거제의 첨가량이 증가될수록 증가되었다.

Table 4는 악취 제거제를 돈분 폐수 대비 무게비로 0.8% 까지 첨가하여 10분과 2일 동안의 폭기 후의 돈분 폐수 중의 음이온 농도의 변화를 나타낸 것이다. Table 4에서 나타낸 바와 같이, 염화이온(Cl⁻), 질산이온(NO₃⁻), 인산이온(PO₄³⁻)과는 달리 악취 제거제의 함량이 높을수록 황산이온(SO₄²⁻)의 함량은 2일 폭기 후 점차적으로 증가하는 경향을 보였다. 황산이온은 돈분 폐수 내에서 혐기성 반응 시 황화수소(H₂S) 가스로 변화하여 적은 양으로도 강한 자극성 악취를 발생시키는 물질이다. 결과적으로, 돈분 폐수 내에 황산이온의 농도가 증가되면서 용해되어 있다는 것은 악취제거제가 황산이온을 황화수소 가스로 변환되는 것을 제어하는 역할을 한다고 판단된다.

Table 4. Changes in anions by reaction of pig wastewater and odor remover

Time	Addition of odor remover (%)	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻
		(mg/L)			
10 min	0.0	316.6	72.8	10.2	49.8
	0.1	371.8	64.5	10.4	34.7
	0.2	348.8	59.8	10.3	26.1
	0.4	326.6	57.5	10.7	26.0
	0.8	326.9	55.1	16.9	25.4
2 days	0.0	256.5	22.2	11.5	56.4
	0.1	255.8	22.0	16.9	33.4
	0.2	276.8	21.8	20.2	28.4
	0.4	256.2	23.6	25.4	28.6
	0.8	248.8	22.3	40.8	26.0

Table 5. Odor removal rate and pH change in pig wastewater before and after addition of odor remover

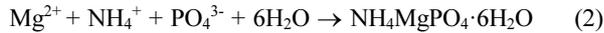
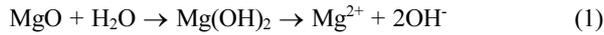
Addition of odor remover (%)	NH ₃	H ₂ S	BTX	pH
0.0	100	100	100	8.2
0.1	95	93	87.9	8.3
0.2	70	79	85.1	8.5
0.4	65	51	84.6	8.9
0.8	35	23	92.7	9.2

악취 분석

Table 5는 돈분 폐수가 들어 있는 반응조에 악취 제거제의 양을 증가시키면서 투입 2일 경과 후 암모니아(NH₃)와 황화수소(H₂S)와 같은 악취 물질과 휘발성 유기화합물인 BTX의 농도 변화의 추이를 나타낸 것이다. 여기서, 분석 물질의 수치는 악취 제거제를 첨가하지 않은 시료에서 발생된 가스를 100% 기준으로 삼아 감소된 %를 의미한다. 분석 결과, 악취 제거제의 첨가량을 증가할수록 암모니아와 황화수소의 발생량은 현저히 감소하는 경향을 보였으나 휘발성 유기 화합물(VOC)은 큰 차이점을 보이지 않았다. 돈분 폐수에서 악취 물질인 암모니아는 악취 제거제를 0.8% 첨가 시 65% 감소하였으며, 황화수소는 77% 감소하였다. BTX는 악취 제거제 첨가 양과는 상관없이 유사하게 나타나는 것을 보아 악취 제거제의 성능이 일반적으로 BTX와 같은 휘발성 유기물질 제거에는 효력이 없음을 알 수 있었다.

pH는 악취 제거제의 첨가 전에는 8.2를 보였고 악취 제거제 첨가량이 증가시킬수록 상대적으로 높게 나타났다. 이는 악취 제거제가 폐수 내의 pH를 상승시켜 약알칼리 상태로 만들어 주어 폐수 내에 존재하는 암모니아 가스의 일부분을 공기 중으로 기화시키고 나머지 일부는 마그네슘 이온과 결합하여 침전되어 제거되는 것으로 판단된다. 이와 같은 결과를 종합적으로 추론하면, 돈분 폐수에 악취 제거제를 투입하여 폭기 시킬 때 암모니아는 하나의 반응보다는 다양한 반응들이 복합적으로 이루어지면서 제거됨을 알 수 있었다.

일반적으로 돈분 폐수의 성상은 마그네슘의 함량은 낮고 암모니아와 인산의 함량은 지나치게 높은 특성이 있으며, pH는 7~8로서 중성에 가깝다. 이와 같은 성상을 갖는 돈분 폐수에 마그네시아를 첨가 시 마그네슘 이온이 용출되고 pH가 상승된다. 최종적으로 마그네슘이온과 돈분 폐수 내의 암모니아와 인산이 화학결합되어 스트로바이트(Struvite, NH₄MgPO₄·6H₂O)로 합성되고 합성된 스트로바이트는 난용성 염의 형태로 침전되어 암모니아가 대기 중으로 배출되지 않도록 한다. 돈분 폐수에서 마그네시아를 이용한 암모니아 제거 반응식 (1)과 (2)는 다음과 같다.



현장 시험을 통한 돈분 폐수의 악취 제거 최적 조건

(1) 분말 악취 제거제 주입방법: 돈분 폐수 유입구에 분말 정량펌프로 주입한다. (2) 양돈 폐수 무게 대비 분말 악취 제거제의 주입량: 0.8% (단, pH를 9 이상 유지한다). (3) 혼합 방법: 폭기식으로 행한다. (4) 폭기량: 돈분 폐수 1톤에 100 L/min 이상 (단, 분말이 침전되지 않을 정도의 폭기량이 유지되어야 한다). (5) 폭기 시간: 최소 24시간에서 최대 48시간 내로 폭기한다.

돈분 폐수의 부숙 및 퇴비화

악취가 제거된 돈분 폐수를 가축분퇴비로 제조하기 위하여 톱밥을 사용하였으며, 통기관을 이용한 통기성을 유지시켜 주고 공기를 주입하여 건조 및 부숙을 시도하였다. 그러나 시험결과 톱밥에 돈분 폐수를 주입하고 통기관을 통하여 1주일간 공기를 불어주어도 내부에서는 건조가 이루어지지 않았고, 표층에서만 건조가 진행되었다. 현장에서는 가축분퇴비의 적재 높이가 2 m 이상 유지되므로 통기관을 이용한 방식만으로는 건조가 불가능하다고 판단하였다. 따라서 1일 1회 뒤집기를 통하여 건조 및 부숙시키는 공정으로 변경하였다. 결과적으로, 톱밥 2톤에 양돈 폐수를 총 5톤까지 살포시 수분을 충분히 흡수하고 있었으며, 톱밥 외부로 돈분 폐수가 흘러나오지 않았다. 돈분 폐수를 흡수한 톱밥에서 30일 지난 시점에 이르렀을 때 내부에서 미생물에 의한 발효가 발생하면서 부숙이 서서히 이루어지기 시작하였다. 현장에서의 돈분 폐수의 부숙과 퇴비화로의 전환 공정은 기간의 제약으로 인해 좀 더 연구가 필요한 상황이다. 앞으로 기회가 주어진다면 좀 더 세밀하게 돈분 폐수의 부숙 최적 조건을 알아 보고자 한다. 더 나아가 돈분 폐수를 악취 없고 질소와 인이 과대하게 농지로 투여되지 않는 친환경적 가축분퇴비로 생산할 수 있는 기술을 개발하고자 한다.

결 론

가축 분뇨를 퇴비화하는 과정에서 가장 문제가 되고 있는 것이 악취이다. 악취는 공기 중에 퍼져 불특정 다수에 영향을 주는 것으로 많은 민원 문제를 야기시켜 왔다. 본 연구에서 마그네사이트를 활성화시킨 분말 마그네시아를 돈분 폐수의 악취제거에 활용하였다. 마그네시아는 산화칼슘(CaO)이나 수산화칼슘(Ca(OH)₂)과 달리 과량을 첨가하여도 pH가 10 이상 상승하지 않는 특성을 지니고 있다. 이러한 이유로 pH가 9~10의 약알칼리 상태에서 폭기 시

돈분 폐수 내의 암모늄이온(NH₄⁺)은 암모니아(NH₃) 가스 형태로 쉽게 변화되어 휘발한다. 또한 이러한 pH 범위에서 폭기 시 산화력이 강하여 혐기성 미생물의 활동이 정지되어 돈분 폐수 내에서 더 이상의 악취를 생성시키지 않는다.

현장 시험결과, 분말 마그네시아의 첨가량을 돈분 폐수의 무게 대비 0.8% 주입하여 2일 폭기시키는 동안 암모니아는 65%, 황화수소는 77% 감소하였다. 그리고 돈분 폐수 내에 남아 있는 암모니아는 마그네슘이온, 인산이온과 결합하여 Struvite(NH₄MgPO₄·6H₂O)의 난용성 염의 형태로 침전된다. 따라서 위의 과정을 통해 마그네시아를 주입하여 폭기 과정을 거친 돈분 폐수에서는 더 이상 악취가 생성되지 않는다.

현장 연구를 통해 돈분 폐수의 악취 제거를 위한 다음과 같은 최적의 조건을 얻었다. 분말 마그네시아의 주입방법으로는 돈분 폐수 유입구에 분말 정량펌프로 주입하는 기술을 적용하고, 돈분 폐수 무게 대비 분말 악취 제거제 주입량은 0.8%로 하며, pH는 9 이상 유지하고, 혼합방법은 폭기식으로 하고, 폭기량은 돈분 폐수 1톤에 분말이 침전되지 않을 정도인 100 L/min 이상으로 하며, 폭기 시간은 최소 하루에서 최대 이틀로 유지하는 것이다.

기존 축산농가는 돈분 폐수를 최소한 6개월 이상 폭기시킨 후 액체비료 형태로 바로 토지에 살포하고 있는데 장시간의 폭기로 인하여 유지비용뿐만 아니라 악취의 발생을 제어할 수 없었다. 이에 비해 본 기술을 적용 시 2일만 폭기 시켜도 농지에 살포할 수준으로 악취가 제거되어 악취 제거에 소요되는 유지비용이 거의 없어 농가의 운영비용을 절감할 수 있을 것으로 기대된다. 비록 초기에는 악취 제거제의 구입비용이 소요되지만 돈분 폐수를 이용하여 가축분퇴비를 제조하여 판매 시 돈분 폐수 자체 처리비용에 비하여 높은 수익성을 기대할 수 있다. 앞으로 고비용으로 처리되었던 산업폐수에도 악취 제거를 위한 마그네시아의 적용가능성을 연구할 필요가 있다고 사려된다.

Acknowledgements. 본 과제(결과물)는 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 사회맞춤형 산학협력 선도대학(LINC+) 육성사업의 연구결과입니다.

REFERENCES

1. Yoon, D. H.; Kang, D. W.; Nam, K. W. *Kor. J. Environ. Agri.* **2009**, 28(1), 47.
2. Ko, H. J.; Choi, H. L.; Kim, K. Y.; Lee, Y. G.; Kim, C. N. *Kor. J. Anim. Sci. & Technol.* **2006**, 48(3), 453.
3. Seo, B. R.; Kim, T. O.; Hwang, U. H. *J. Kor. Soc. Urban*

- Environ.* **2013**, *13*(2), 129.
4. Sung, H. G.; Cho, S. B.; Lee, S. S.; Choi, Y. J.; Lee, S. S. *J. Agri. & Life Sci.* **2017**, *51*(3), 95.
 5. Cho, S. B.; Kim, C. H.; Hwang, O. H.; Park, J. C.; Kim, D. W.; Sung, H. G.; Yang, S. H.; Yoo, Y. H. *J. Lives. Hous. & Environ.* **2011**, *17*, 145.
 6. Kim, C. M.; Chung, T. H.; Kim, S. C.; Choi, I. H. *J. Agri. & Life Sci.* **2019**, *53*(3), 141.
 7. Choi, I. H.; Lee, H. J.; Kim, D. H.; Lee, Y. B.; Kim, S. C. *J. Environ. Sci. Int.* **2015**, *24*, 25.
 8. Im, S. W.; Mostafa, A.; Kim, D. H.; *Sci. Total Environ.* **2021**, *753*, 142080.
 9. Zubair, M.; Wang, S.; Zhang, P.; Ye, J.; liang, J.; Nabi, M.; Cai, Y. *Biores. Technol.* **2020**, *301*, 122823.
 10. Andersen, K. B.; Beukes, J. A.; Feilberg, A. *Chem. Engineer. J.* **2013**, *223*, 638.
 11. Zilio, M.; Orzi, V.; Chiodini, ME.; Riva, C.; Acutis, M.; Boccasile, G.; Adani, F. *Waste Manage.* **2020**, *103*, 296.
-