

축산폐기물의 안정화 처리에 대한 연구

김현철 · 최용수*†

경희대학교 화학과

*한국과학기술연구원 환경연구센터

(1994. 11. 5. 접수)

A Study on the Lime Stabilization of Livestock Waste

Hyun-Chul Kim, Yong-Su Choi*

Department of Chemistry, Kyunghee University, Seoul 130-701, Korea

*Environment Research Center, KIST, Cheongryangri P. O. Box 131, Seoul 130-650, Korea

(Received Nov. 5, 1994)

요약 : 축산폐기물의 처리에 이용되는 혐기성 및 호기성 소화법은 복잡한 처리기술과 유지관리 및 과도한 처리비용 등의 문제점이 있으며, 재활용법인 퇴비화는 긴 부숙기간, 수분조절제 사용 및 완속도 판정의 어려움 등의 문제점이 있다. 이와 같은 축산폐기물의 기존 처리법의 문제점을 탈피하고 축산폐기물을 이화학적 및 위생학적으로 안정화시켜 축산폐기물 자체의 환경 부적인 측면인 악취, 기생충 및 병원균, 혐오감 등을 해소하며 처리물을 토양개량제 또는 유기질비료로 이용할 수 있는 축산폐기물의 안정화 처리 및 자원 재활용공정을 연구하였다.

본 논문은 대표적 축산폐기물의 하나인 돈분을 대상으로 안정화 반응조건을 확립하고 처리물의 안정성, 안전성, 위생성 및 비효성 등을 평가하는 목적으로 수행하였다. 연구결과 최적 안정화를 위한 첨가제의 투여량은 고흡분 대비 약 30%, 반응시간은 약 5분이며, 전조는 자연건조 후 강제건조가 적합한 것으로 나타났다. 최종 안정화 처리물은 약알칼리성으로서 유기물 함량은 약 50% 내외, 비료성분인 총 질소, 인산 및 칼리의 함은 약 5.3%였다. 또한 안정화 처리시 암모니아, 황화수소 등의 악취물질이 거의 제거되었고, 일반세균과 대장균은 98% 이상, 기생충은 완전 사멸되었다. 따라서 돈분의 안정화 처리물은 토양개량제 또는 유기질비료로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract : One of alternative conventional technologies used for treatment of livestock wastes is composting process, and recently some mechanical composting processes are being practiced. It is, however, recognized the composting process also has its own limitations such as longer time requirement, and difficulties to estimate the degree of decomposition, etc. The incomplete compost contains potentially harmful materials to crops and public health due to instabilized organic contents and pathogenic organisms.

The purpose of this investigation is to develop an innovative system whereby anxious livestock wastes are thoroughly stabilized and disinfected. Thus the overall management scheme should meet the following requirements.

1. A system should be in a cost-effective and environmentally sound manner.
2. Sludges must be chemically stabilized and bacteriologically safe.
3. Odor-free by product should be applied to crop land.

4. Sludges are sources of fertilizer nutrients and/or soil amendments to enhance crop production.
5. And they can be used as potential pH adjusting agent of the acidified soils.

Overall effectiveness of the developed system is experimentally tested to satisfy the pre-set criteria and requirements. Major experiments are divided into four categories: they are

1. chemical stability test,
2. optimal condition test of stabilization process,
3. bacteriological examination and disinfection tests, and
4. deodorization tests

The stabilization process is consisted of the stabilizing reaction process and the drying process. Stabilized wastes is dried by both sun dryer and rotary dryer. It is shown that an additive dosage of about g/kg solid in wastes with a minimum of 5-minutes reaction would be necessary for effective stabilization reaction.

The stabilization process is consisted of the stabilizing reaction process and drying process. Stabilized wastes are dried by both sun dryer and rotary dryer. It is shown that an additive dosage of about 300g/kg solid in wastes with a minimum of 5-minutes reaction would be necessary for effective stabilization reaction.

In the stabilization reaction process, the pH of wastes is lowered from initial values of 12.3 to 8.6. High pH prevents odor production and kills pathogenic organisms. Organic matter contents in the stabilized wastes are about 50% and the sum of contents of fertilizer elements such as total nitrogen, P_2O_5 and K_2O are about 5.3%. The livestock wastes that are stabilized chemically and hygienically can be used as a good soil conditioner and/or organic fertilizer.

Key words : Livestock Waste, Stabilization, Reutilization, Fertilizer, Composting.

1. 서론

유기물을 다량 함유하고 있는 가축분뇨, 인분뇨, 도축폐기물 및 폐·하수 슬러지 등의 유기성 폐기물은 현재까지 주로 혐기성 및 호기성 소화법으로 처리되어 왔으나, 이들 처리법이 비교적 복잡한 처리기술과 유지관리 및 과도한 처리비용 등의 문제점을 안고 있어 환경오염의 주요 원인이 되어 왔다. 특히 최근 가축사육의 대규모화와 함께 그 발생량이 증가일로에 있는 축산폐기물은 적절한 처리대책의 미흡과 효과적인 처리방법 및 기술의 부재로 하천 및 호소 수질악화의 커다란 원인이 되고 있다. 또한 가축분을 이용한 퇴비 생산이 퇴비화의 문제점으로 알려져 온 긴 부숙기간, 수분조절제 사용 및 완속도 판정의 난이 등으로 피해사례가 발생되어, 그 사용이 기피됨에 따라 고탍유 유기물의 재이용에 대한 시도는 약화되고 오히려 환경부적인 측면이 강조된 처리, 처분법이 중요시되고 있다. 그러나 이들 처리법은 유기성 폐기물의 처리에 기울이는

노력과 비용에 비해 효율은 저조하며, 오히려 2차 오염의 유발 가능성이 상존하는 반면 유기성 폐기물이 지니고 있는 자원으로서의 가치가 사장되어 자연의 순환 원칙이 무시되는 결과를 초래하고 있다.

최근 가축배설물이 수질오염물로 부각되는 이유는 과거 양질의 유기질비료로 사용되던 가축분이 급격히 늘어난 화학비료에 밀려 토양에 환원되지 못하고 노지 등에 방치되거나 강우시 하천으로 유입되기 때문이며, 화학비료에만 의존하는 토양은 날로 척박해지고 산성화되어 가고 있다. 토양이 산성화되면 토양 미생물 중 곰팡이류가 번성하며 영양소의 보유기능이 감소되고 질소고정이 어려워지며, 이에 따른 식물의 질병 저항력이 약해져 작물의 성장에 크게 지장을 준다. 또한 토양에 유기물 투입이 적으면 유기물 자체의 부족과 더불어 토양의 공극 형성에 의한 통기성이나 보수성이 약화되면서 흙이 단단히 굳어져 가는 단립화(흙알조각화) 현상이 일어난다.

축산분뇨의 재이용 방법 중 대표적인 퇴비화는 분뇨

의 위생적·생화학적 안정화, 최종 부산물의 악취제거 및 처분의 확실성과 함께 부산물 시비로 인한 토질 개량에 기여할 수 있어 우리나라 여건에 적합한 처리방식으로 여겨져 왔다.

유기성 폐기물의 퇴비화 방법은 1935년 Howard와 Albert¹에 의해 연구된 이래 Wilson과 Epstein²은 도시 하수 슬러지의 퇴비화를, Poincelot³은 퇴비화에 관한 생화학적 연구를 시도하였으며, Haug와 Haug⁴는 슬러지 퇴비화 공정을 연구하였다. 우리나라에서는 1978년 한⁵이 유기성 산업폐기물의 비료자원화에 관한 연구를 수행한 이래 정 등⁶은 11개 업종 75개 공장의 산업폐기물로부터 유기물과 비료성분을 분석하여 유기질 자원으로서의 가능성을 평가하였고, 유기성 폐기물의 재이용 방법으로 윤 등⁷은 분뇨잔사의 퇴비화를, 김 등⁸은 분뇨와 고품폐기물과의 혼합 퇴비화에 대한 가능성 검토 및 처리방식을 제시하는 등 축산폐기물 및 슬러지 등의 유기성 폐기물에 대한 퇴비화와 토양에의 시용에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다.⁹⁻¹⁸

이러한 연구를 토대로 유기성 폐기물은 종류에 따라 부분적으로 재이용되고 농가 단위로 축산분뇨 등의 퇴비가 이루어져 왔으나 불완전 처리 또는 거의 처리되지 않은 상태의 처리물을 토양에 직접 사용하여 피해가 유발되는 사례가 많았으며^{5, 13, 15}, 취급시의 혐오감 등 많은 문제점이 내재되어 있다.

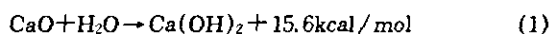
따라서 본 연구에서는 축산분뇨의 폐기물로서의 제반 문제점을 해결하고, 새로 개발된 신공정에 따라 소량의 첨가제만 사용하여 반응시키는 처리방법을 확립하며, 또한 최종 부산물인 안정화 처리물의 유효성분 및 용출실험을 통한 안정성, 비효성, 안정성 및 위생성을 조사하여 토양개량제 또는 유기질비료로서의 사용 가능성을 조사함으로써 축산폐기물의 안정화 처리 기법을 개발하고자 하였다.

2. 안정화 이론 및 공정

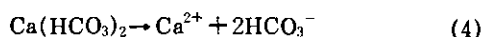
2.1. 안정화 이론

안정화 처리과정에서 부여되는 첨가제의 주성분은 천연의 석회석을 825℃ 이상으로 가열하였을 때 유리되는 산화칼슘으로서 고체의 탄산칼슘이 분해되면서 빠져나간 이산화탄소의 위치가 미세한 공극을 형성함에 따라 축산폐기물 등의 유기성 폐기물과 함께 반응기에 투입한 후 반응기를 작동시키면 폐기물에 함유된

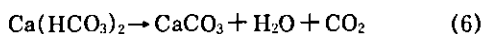
물 및 이산화탄소를 쉽게 흡수하여 식 (1) 및 식 (2)의 반응이 순식간에 진행되며, 동시에 많은 열이 발생된다.



발생된 반응열은 폐기물 중 유기물의 활성도를 진작시켜 칼슘 등의 금속이온들과 착화합물을 형성하게 하고, 악취물질의 일부 성분을 분해하여 휘산 또는 칼슘이온 등과의 화합물을 생성하게 하며, 처리물의 온도 상승으로 인하여 수분의 증발 및 열에 약한 병원균의 세력을 약화 또는 사멸시키는 작용을 한다. 반응이 종료된 후의 처리물은 폐기물과 첨가물이 균일하게 혼합 분포된 슬러리로서 수산화칼슘과 중탄산칼슘이 식 (3) 및 식(4)와 같이 해리되어 pH 12~13 정도의 강알칼리성을 띠며, 이 알칼리에 의해 총란 및 병원균이 사멸된다.



반응이 완료된 처리물을 대기 중에서 건조시키면 식 (5)와 같이 수산화칼슘이 공기 중의 이산화탄소와 반응하여 탄산칼슘을 형성하고, 중탄산칼슘 역시 식 (6)과 같이 건조과정에서 수분이 증발되면 탄산칼슘이 생성된다.



반응기내의 화학반응으로 인하여 강알칼리성이었던 처리물은 식(5) 및 식 (6)의 반응이 진행됨에 따라 중성화되어 건조가 완료된 후의 안정화 처리물은 중성에 가까운 약알칼리성을 띠게 된다.

2.2. 안정화 처리공정

축산폐기물은 수분 함량에 따라 폐수 처리과정과 고품폐기물 처리과정으로 대별할 수 있는데, 안정화 처리공정은 고품폐기물의 처리과정으로 분류되며 처리 대상물에 따라 적정 수준의 수분 함량이 요구된다. 돈사에서의 돈분뇨는 액상분이 별도로 수집되어 이미 고

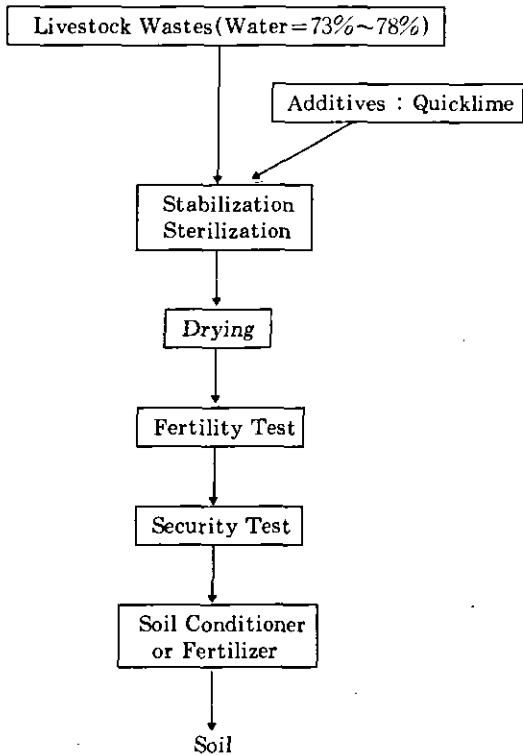


Fig. 1. Flow Sheet for the Stabilization of Livestock Wastes

액분리의 전처리 과정을 거친 상태이며, 수분 함량이 대략 73%~78%로서 별도의 고액분리시설이 필요치 않고, 수거한 즉시 반응기가 부착된 안정화 처리시설에서 안정화시키고 건조시켜 비료화할 수 있다.

본 연구에서 고액분리 과정이 필요치 않은 축산폐기물을 대상으로 안정화 처리하고 최종 부산물의 재이용 가능성 검토를 목적으로 하였기 때문에 액상분의 처리 과정이 제외된 일련의 처리공정을 Fig. 1에 요약하여 나타내었다.

3. 실험

3.1. 분석방법

3.1.1. 함량실험

수분은 증발 증량법, 유기물은 회화 증량법, 질소는 Kjeldahl 분해증류법, 인은 Stannous법, 황은 적외선 흡수법, 금속류는 원자흡수분광법으로 분석하였다.

3.1.2. 용출실험

500ml 용량의 폴리에틸렌병에 안정화 처리물 4g과

수도물 200ml를 가한 다음 300분 동안 진탕(진폭 4cm, 주기 180회/분)한 후 Whatman-41 여과지에서의 각각의 여액을 안정화 처리물의 용출액 시료로 사용하였다.

분석방법은 B는 Carmine법, Si는 Molybdosilicate법, Cl은 Potentiometry, 기타의 항목은 함량실험과 같은 방법으로 분석하였다.

3.1.3. 악취실험

안정화 처리 전의 축산폐기물 및 처리 직후의 처리물과 처리 후 2시간, 4시간, 1일, 2일, 8일 및 16일 동안 건조된 안정화 처리물을 용량 1m³의 구형 비닐백에 1kg씩 투입한 다음 입구를 밀봉하고 1시간 동안 방치하였다. 휘산된 악취물질을 Gas Sampler를 이용하여 다른 비닐백에 포집하고, 대표적 악취물질로서 암모니아는 0.5%-H₃BO₃에 흡수시켜 Indophenol법으로, 황화수소는 Zn-Amine 용액에 흡수시켜 Methylene Blue법으로 분석하였다.

3.1.4. 위생실험

안정화 처리물을 4일간 건조시킨 후 Cap Tube에 채취하여 2~8℃의 냉장고에 보관하면서 필요시 분석에 이용하였으며, 일반세균, 대장균, 병원성 세균 및 기생충의 유무를 조사하였다.

3.2. 시료 제조

3.2.1. 첨가제의 최적 투여량 결정

축산폐기물 약 40kg(고형분은 약 10kg)과 축산폐기물 중 고형분에 대한 무게비로 첨가제 투여량을 10%씩 증가시켜 6가지 조건의 각각 0~50%(생석회 0~약 3kg)를 약 100kg 용량의 안정화 반응기에 각각 투입하여 교반시켰으며, 반응시간(교반시간)을 5분으로 하여 안정화 처리한 다음 105℃ 오븐에서 4시간 동안 완전 건조시켜 강제건조 안정화 처리물 시료로 사용하였고, 또한 처리물을 통풍이 잘 되는 비닐하우스에서 자연상태로 일정 기간 건조시킨 후 자연건조 안정화 처리물 시료로 사용하였다.

3.2.2. 최적 반응시간 결정

첨가제 투여량 6가지 조건 중에서 적절하다고 판단되는 20%, 30% 및 40%의 3가지 조건을 선정하고, 최적 반응시간 결정을 위해 3, 5, 8, 10 및 15분의 5가지 조건을 설정하여 총 15 종류의 자연건조 안정화 처리물을 시료로 사용하였다.

3.2.3. 최적 건조조건 결정

105℃ 오븐에서 강제로 건조된 시료는 식 (5) 및 식 (6)의 반응이 진행되지 않아 강알칼리성을 띠므로, 처음에는 이들 반응의 진행을 위해 자연건조시켰으며, 건조기간에 따라 단계적으로 수분 함량을 8%~60% 범위의 5종류 자연건조 처리물을 105℃ 오븐에서 강제로 재건조하였다.

따라서 첨가제 투여량 20%, 30% 및 40%의 3가지, 반응시간 5분 및 8분의 2가지, 자연건조기간에 따라 8%~60%의 수분 함량을 갖는 5가지의 총 30가지를 강제로 재건조하여 시료로 사용하였다.

4. 결과 및 고찰

유기성 폐기물의 환경정화에 대한 제반 역기능의 방지 또는 완화를 안정화로 정의하고, 유기성 폐기물에 대한 이러한 처리를 안정화 처리라고 정의한다. 안정화 처리는 폐기물 내의 악취물질을 제거하거나 또는 흡착하여 서서히 방출되게 하고, 살충함으로써 위생성을 향상시키며, 유효성분이 자연환경에서 서서히 분해되어 토양 및 작물에 이롭게 작용하도록 하는 등의 제반 처리법이 포함되어야 한다. 또한 유기성 폐기물의 안정화 처리물은 시용시 주위 환경이나 토양 및 작물에 악영향이 없어야 하며, 2차 오염이 유발되지 않아야 한다.

4.1. 최적 안정화 반응조건

4.1.1. 첨가제 투여량

첨가제 투여량을 0~50%로 10%씩 증가시켜 제조한 6가지 안정화 처리물에 대하여 강제건조시킨 6가지, 자연건조시킨 6가지의 총 12개 시료에 대하여 용출액의 pH를 측정된 결과, 강제조건 안정화 처리물은 진탕 시간에 관계없이 첨가제를 투여하지 않은 경우의 pH 6.3~6.5와 10% 투여한 경우의 pH 8.7~9.2를 제외하고는 모두 pH 11.6~12.5의 강알칼리성을 나타냈으며, 자연조건 안정화 처리물은 첨가제 투여량 30%까지는 pH 7.0~9.1의 약알칼리성, 40%에서는 pH 9.6~9.9, 50%에서는 pH 11.4~11.9의 강알칼리성을 나타냈다.

이 결과들로부터 최종 처리물의 안정성 및 토양 환원시 산성토양의 중화작용을 고려하면 첨가제 투여량 20%~40%로 반응시킨 후 자연건조시킨 처리물이 토양 시비에 적절한 것으로 판단된다.

4.1.2. 반응시간

반응시간은 반응기에서의 교반에 의한 처리물의 균일화와 축산분뇨 중의 수분과 첨가제와의 반응에 의한 발열량 및 최종 처리물의 안정성에 영향을 미칠 것으로 판단되어, 축산폐기물 및 분뇨의 고형분에 대한 무게비로 첨가제를 각각 20%, 30% 및 40% 가한 후 최적 안정화 반응시간을 결정하기 위해 3, 5, 8, 10 및 15분의 5가지 조건을 설정하여 총 15가지의 자연건조 안정화 처리물을 제조하였다. 그 결과 첨가제 투여량별로 반응시간에 따른 발열량 및 최종 처리물의 안정성은 별 차이가 없었으나, 반응시간 3분에서는 첨가제의 혼합이 불균일하였으며, 5분 이상의 반응시간에서는 축산폐기물과 첨가제가 균일하게 혼합되었다.

따라서 안정화 처리시설의 처리용량은 반응시간에 크게 의존하므로 비교적 반응시간이 짧고 처리물이 균일하게 혼합되는 5분 또는 8분이 적절한 반응시간으로 조사되었다.

4.1.3. 건조조건

강제 건조된 안정화 처리물은 식 (5) 및 식 (6)의 반응이 진행되지 않아 강알칼리성을 띠므로 자연상태에서 건조시켜야 하지만, 이 경우 장기간이 소요되므로 건조기간을 단축시키기 위해서 처음에는 이들 반응이 진행되도록 자연건조시키고, 자연건조가 완료된 후의 수분 함량이 단계별로 8%~60%인 각각의 5종류 자연건조 처리물을 건조기에서 강제로 재건조하였다.

즉, 첨가제 투여량 20%, 30% 및 40%의 3가지 조건, 반응시간 5분 및 8분의 2가지 조건, 초기 수분 함량이 대략 65%~70%인 처리물을 자연건조기간에 따라 60%(1단계), 약 45%(2단계), 약 30%(3단계), 약 15%(4단계) 및 약 8%(5단계)까지 건조시킨 5단계 조건의 총 30종류 처리물을 강제로 재건조하여 최적 첨가제 투여량, 최적 반응시간 및 최적 건조조건 결정을 위한 시료로 사용하였으며, 각각의 시료에 대해 용출액의 pH를 조사한 결과는 Table 1과 같다.

안정화 처리를 위한 인자별 최적 조건은 첨가제 투여량의 경우 최종 처리물의 생산단가를 줄이기 위해 적어야 하며, 반응시간의 경우 단위 안정화 처리시설의 처리용량을 극대화하기 위해 짧아야 하고, 건조조건의 경우 건조기간의 단축 및 자연건조시설의 소형화를 위해 자연건조기간을 줄여야 한다.

따라서 이들 3가지 인자를 어느 정도 만족시키면서 최종 안정화 처리물의 안전성, 위생성 및 비효성이 보장되는 최적 안정화 반응조건은 첨가제 투여량 30%,

Table 1. pH of Extracted Solution on Stabilized Livestock Waste

Drying Condition (step)	Reaction Time (min.)	Additive Dosage (%)		
		20	30	40
		pH		
1	5	10.1	12.3	12.5
	8	9.4	12.2	12.5
2	5	8.3	10.0	12.1
	8	8.1	9.7	11.4
3	5	8.7	8.6	10.1
	8	8.4	8.7	9.0
4	5	8.9	8.9	8.6
	8	8.7	8.7	8.9
5	5	8.9	8.6	8.3
	8	8.7	8.9	8.7

반응시간 5분 및 초기 처리물의 수분 함량을 자연건조로 약 50% 정도 증발시키는 3단계 건조조건이 합당한 것으로 판단되며, 이 최적 조건에서 최종 처리물에 대한 용출액의 pH는 Table 1에 나타난 바와 같이 약 8.6으로서 약알칼리성을 띤다.

4.2. 안정성

최적 안정화 처리물의 안정성을 평가하기 위해 처리전의 축산폐기물과 비교 분석하였다.

Table 2에 나타난 바와 같이 온도 22.8℃, pH 6.5의 초기 축산폐기물을 최적 처리조건에서 안정화시킬 경우 수분과 첨가제의 반응에 의해 처리물의 온도는 39.5℃, pH는 12.3으로 상승하며, 이 과정에서 축산폐기

물에 함유되어 있는 총란과 병원균이 사멸되고 악취물질이 휘산 또는 제거되는 안정화 효과를 나타낸다. 또한 건조된 최종 안정화 처리물은 pH 8.6의 약알칼리성으로서 유기물과 같은 부패성 물질이 서서히 분해되며, 냄새와 모양 등이 부식토와 비슷하여 혐오감 없이 취급할 수 있다.

악취물질은 Table 3에 나타난 바와 같이 안정화 처리 직후의 암모니아 농도가 1,260ppm으로서 안정화 처리시 다량으로 휘산되며, 처리물의 건조가 진행됨에 따라 점차 감소하여 처리 후 4일이 경과하면 Odor Threshold¹⁶인 46.8ppm을 훨씬 밑도는 17ppm을 나타냈다.

특히 작물에 축산폐기물로 제조한 유기질 비료를 시

Table 2. Stability of Stabilized Livestock Waste

Description		Livestock Waste	Optimum Stabilized Waste
Initial Temperature	(℃)	22.8	39.5
Water Content before Drying	(%)	72.5	67.0
pH of Waste before Drying		6.5	12.3
Organic Material Content after Drying	(%)	66.4	48.8
pH of Waste after Drying		7.2	8.6
Organic Material Concentration in Extracted Solution after Drying	(%)	0.42	0.20

Table 3. Odor Test of Stabilized Livestock Waste

(Unit : ppm)

Item	Before Treatment	After Treatment							
		0	2h	4h	1d	2d	4d	8d	16d
Ammonia	4.6	1,260	360	237	184	93	17	14	8.9
Hydrogen Sulfide	2.3	1.7	0.32	0.20	0.17	0.12	0.11	0.07	0.05

용하였을 때 가장 문제가 되는 것은 암모니아 가스에 의한 피해¹⁷로서 건조가 완료된 최종의 안정화 처리물은 직접 건조시킨 축산폐기물보다 이러한 피해가 크게 감소될 것이다.

4.3. 안전성

작물에 별로 도움이 되지 않으면서 결국 인체에까지 해를 미치게 되는 유해 중금속은 무공해 농산물 생산을 위해 '비료관리법'으로 규제하고 있으며, 유기질 비료의 유해 중금속 기준치는 각각 Cd 5ppm, Pb 150ppm, As 50ppm 및 Hg 2ppm 이하이다.

축산폐기물의 최적 안정화 처리물은 유기물 함량이 약 48.8%로서 '비료관리법'에 따른 유기질 비료의 유기물 함량 기준치 30%를 초과하므로 유해 중금속 함유량이 법적 기준을 만족한다면 등록절차를 거쳐 양질의 유기질 비료로 사용할 수 있다. 이에 따라 안정화 처리물의 유해 중금속에 의한 안전성 여부를 조사하고자 그 함유량을 측정하였으며, 결과는 Table 4에 나타난 바와 같이 안정화 처리물의 유해 중금속 함유량은 모두 법적 기준을 만족하였다.

특히 처리전의 축산폐기물보다 안정화 처리물의 Cd 함량이 높은 것은 첨가제에 미량으로 함유되어 있는 Cd에 기인한 것으로 판단된다.

일반적으로 유기성 폐기물을 처리하여 토양에 환원

Table 4. Toxic Heavy Metal Contents

(Unit : ppm)

Heavy Metal	Livestock Waste	Stabilized Waste
Cd	2.7	3.2
Pb	< 1	< 1
As	7.2	6.0
Hg	< 0.005	< 0.005

하고자 할 경우 유해 중금속들은 토양을 오염시킬 수 있고, 또한 작물의 대사작용으로 흡수되어 먹이사슬을 통한 인체로의 흡수 가능성을 배제할 수 없으므로 중요하게 취급되어야 한다. 그러나 기존의 토양은 미량이나마 거의 모든 종류의 중금속을 함유하고 있어서 중금속 함량이 미량일 경우에는 시용을 우려할 필요가 없으며, 안정화 처리물의 경우 법적 기준보다 훨씬 낮은 농도의 중금속을 함유하므로 토양 시용에 따른 안전성의 문제는 없을 것으로 판단된다.

최적 안정화 처리물에 대한 위생상의 안전성을 조사하고자 균 및 기생충의 수를 측정하여 처리 전의 축산폐기물과 비교한 결과 장내 병원성 세균인 Salmonella, Shibella 등의 그람음성통성간균은 처리 전의 축산폐기물에서 검출되지 않아 특별히 문제될 것이 없었고, 일반세균수는 축산폐기물의 5.0×10^5 에서 안정화 처리 후 1.0×10^4 으로 감소되어 98.0%, 대장균수(MPN)는 2.3×10^5 에서 1.3×10^3 으로 감소되어 99.4%가 사멸되었으며, 회충란 등의 기생충은 3.0×10^2 이 완전 사멸되는 효과를 보였다(Table 5).

따라서 최적 안정화 처리물을 토양개량제 또는 유기질 비료로 토양에 사용할 경우 유해 중금속 및 균과 기

Table 5. Bacteriological Examination

Kind of Bacteria	Total Bacteria Count		Die-off (%)
	Livestock Waste	Stabilized Waste	
General Bacteria	5.0 E 5	1.0 E 4	98.0
E. Coli	2.3 E 5	1.3 E 3	99.4
Gram-negative			
Facultative	N. D.	-	-
Bacillus			
Parasite	3.0 E 2	N. D.	100

생충으로부터 안전한 것으로 판단된다.

4.4. 비효성

유기물은 작물에 의해 직접 흡수되지는 않지만 토양의 공극 형성에 의한 통기성과 보수성이 강화되어 작물의 활착, 발아 및 성장에 도움을 줄 뿐 아니라 작물이 흡수할 수 있는 무기물로 분해되기 때문에 비효성이 큰 물질이다. 그러나 작물을 집약적으로 재배할 때 비료의 과다 사용에 의해 부패성의 유기물이 집중적으로 공급되면 작물에 장애를 일으키므로, 유기물 함량은 많지만 서서히 분해되어 작물에 지속적으로 공급되는 비료가 양질의 유기질 비료라고 할 수 있다.

안정화 처리물을 유기질 비료로서 시용할 경우의 비효성 및 비료로서의 우수성을 평가하기 위해 처리 전의 축산폐기물과 비교하여 비효물질의 함량 및 용출실험에 의한 용출률을 Table 6에 수록하였다.

Table 6으로부터 최종 안정화 처리물은 무기성 첨가물의 투입으로 인하여 건조된 축산폐기물보다 유기물 함량은 감소되지만 유기질 비료의 함량기준 30%를 훨씬 초과하는 48.8%를 나타냈으며, 용출률은 건조된 축산폐기물의 2/3 수준인 0.41%로서 유기물이 안정화되

므로 농작물에 시비할 경우 지속적으로 안전하게 양분이 공급되어 작물의 연용도 기대된다.

또한 비료의 3대 요소인 질소, 인 및 칼리의 총 함량은 약 5.3%, 기타 미량원소도 상당량 함유되어 최종 안정화 처리물은 비효성이 매우 큰 것으로 조사되었다.

5. 결론

축산폐기물의 최적 안정화 조건은 본 연구에서 개발된 안정화 처리공정에 따라 첨가제를 축산폐기물 중의 고형분 대비 약 30wt-% 투입한 후 반응기에서 5분간 반응시킨 처리물을 먼저 자연건조시설에서 수분의 약 50%가 증발되도록 건조하고 다음에 건조장치를 이용하여 완전 건조시키는 것이다.

이상과 같은 최적 조건에서의 안정화 처리물은 약알칼리성(pH 8.6)으로서 다량의 유기물(약 48.8%)과 비효성분(비료 3대 요소의 합 : 약 5.3%)을 함유하는 반면 유해성분은 미량 함유하거나 또는 함유하지 않아 비효성 및 안전성이 확보되어 토양개량제 또는 유기질 비료로 사용할 경우 작물생장에 큰 도움을 줄 수 있다.

Table 6. Fertilizer Efficacy of Stabilized Livestock Waste

Description	Dried Livestock Waste		Stabilized Livestock Waste	
	Content	Extraction Ratio	Content	Extraction Ratio
Organic Material (%)	66.8	0.63	48.8	0.41
Carbon (%)	35.7	—	34.4	—
Hydrogen (%)	5.50	—	4.69	—
T-N (%)	3.16	27	1.97	28
P ₂ O ₅ (%)	2.76	—	1.97	—
S (%)	0.58	—	0.32	—
K ₂ O (%)	2.10	59	1.31	77
CaO (%)	3.04	16	21.2	12
MgO (%)	1.75	34	1.12	25
Fe (mg/kg)	3,590	—	2,790	—
Cu (mg/kg)	455	—	375	—
Zn (mg/kg)	525	—	425	—
Mn (mg/kg)	260	—	235	—
Si (mg/kg)	5,700	—	4,550	—
B (mg/kg)	3.6	—	2.9	—

또한 유기물은 안정화 처리 전보다 용출률이 감소되었으며, 암모니아, 황화수소 등의 악취물질은 거의 제거되었고, 일반세균과 대장균은 98% 이상, 기생충은 완전 사멸됨으로써 최종 안정화 처리물을 작물에 시용할 경우 안정적으로 양분을 공급하여 작물의 연용효과가 기대되며, 위생적으로도 안전하다.

특히 안정화 처리물은 냄새 및 형상이 양질의 산토와 비슷하여 축산폐기물에 대한 혐오감을 제거한 것과 수질오염의 주요 요인 중의 하나인 축산폐기물을 재이용함으로써 수질오염의 저감에 기여할 수 있을 뿐 아니라 주원료인 축산폐기물을 무상으로 다량 확보할 수 있고 첨가제 및 처리비용이 저렴하여 축산폐기물의 최종 처리, 처분법으로 많은 장점을 가지고 있다.

감사의 글

본 연구는 1991년도 과학기술처에서 시행한 특정연구개발사업 연구비에 의해서 수행된 바 깊은 감사를 드리며, 또한 본 연구의 수행에 적극적으로 협조해 주신 경기도 남양주군 소재의 축산농가 주민 여러분께 진심으로 감사드립니다.

참고문헌

- Haward and Albert, The Waste Products of Agriculture and Their Utilization as Humus, *Sci. Agriculture*, (1935).
- G. B. Wilson and E. Epstein, *J. WPCF*, 48(4), 688(1976).
- R. P. Poincelot, The Biochemistry of Composting, Proc. National Conf. on Composting of Municipal Residues on the Sludges, Information Transfer, P. 33, (1977).
- R. T. Haug and L. A. Haug, Sludge Composting, A Discussion of Engineering Principles Part 142, Compost Science/Land Utilization, *J. Waste Recycling*, Jan. -Feb.(1978).
- K. H. Han, *J. Kor. Soi. Fer. Soc.*, 11(3), 195 (1978).
- K. Y. Jung, et al., *J. Kor. Soi. Fer. Soc.*, 14(2), 83(1981).
- S. J. Yoon, et al., *J. Kor. Sol. Was. Eng. Soc.*, 5 (2), 127(1988).
- S. K. Kim, et al., *J. Kor. Sol. Was. Eng. Soc.*, 5 (2), 75(1988).
- A. J. Higgins, A. J. Kaplovsky and J. V. Hunter, *J. WPCF*, 54(5), (1982).
- P. A. Westphal and G. L. Christensen, *J. WPCF*, 55(11), 1381(1983).
- J. S. Shin, et al., *J. Kor. Soi. Fer. Soc.*, 16(3), 256 (1983).
- J. S. Shin, et al., *J. Kor. Soi. Fer. Soc.*, 17(1), 51 (1984).
- J. S. Shin, et al., *J. Kor. Agr. Che. Soc.*, 27, 68 (1984).
- C. S. Clark, et al., *J. WPCF*, 56(12), 1269(1984).
- C. S. Yuk, *J. Soi. Fer. Soc.*, 18(2), 113(1985).
- J. E. Yocom and R. A. Duffe, *Chem. Eng.*, 77(13), 160(1970).
- B. Y. Kim, et al., *J. Kor. Soi. Fer. Soc.*, 20(2), 139(1987).