

# 양돈분뇨 자원화를 위한 석탄회 활용에 관한 연구

김두환

(진주산업대학교 국제축산개발학과 교수)

## A study on the utilization of fly ash for recycling of swine manure

Doo-Hwan Kim

Dept. of International Livestock Industry, Chinju National University,  
Chinju, 660-758, Korea

### 적 요

본 연구는 양돈분뇨 자원화를 위한 부자재로서 대표적인 톱밥을 대체할 석탄회의 가치와 양돈분뇨의 퇴비화 발효과정에 미치는 영향을 조사하기 위하여 수행되었으며, 가축분뇨의 퇴비화 부자재로서 톱밥의 수급과 공급량 문제를 해결할 대안으로 화력발전소에서 전력생산 후 폐기되는 석탄회의 재활용 가능성을 분석하였다.

양돈분뇨와 톱밥 및 석탄회를 일정비율로 혼합하고 퇴비화 과정이 진행되는 동안 퇴비발효에 관여하는 주요인 즉 온도, 수분함량, pH, 질소함량 및 C/N비의 변화를 조사하여 석탄회 혼합량에 따른 차이를 조사하였다.

석탄회를 톱밥사용량의 50%를 대체한 경우 퇴비발효과정의 최고온도(63.5°C) 도달 일자가 3일이었으며, 수분함량, pH 및 질소함량 변화에 있어서도 각각 퇴비발효에 문제가 없는 것으로 나타났으며, C/N비의 변화에 있어서도 석탄회 혼합비율에 따른 부정적인 영향을 나타나지 않았다.

따라서 산업폐기물의 재활용과 환경오염 저감책으로 석탄회의 가축분뇨처리 부자재 이용이 기대된다.

실정이다.

양돈분뇨는 양돈 사육규모의 확대에 따라 집중적으로 일시에 많은 양이 발생되고 양돈농가는 대부분 집약적인 경영을 하고 있어 양돈분뇨를 처리하기 위한 충분한 토지를 확보하고 있지 못하는 특성을 지니고 있다.

또한 지역별 돼지사육두수 현황을 보면 경기도가 가장 많은 두수를 사육하고 다음이 충남, 경북, 경남의 순으로 대도시와 인구밀집 지역을 인접하고 있으며 우리나라의 주요 수자원에 직접 영향을 미칠 수 있는 여건을 형성하고 있다.

따라서 양돈분뇨에 대한 철저한 관리는 환경보전 및

## 1. 서론

국내에서 연간 생산되는 축산분뇨 발생량은 4,300만톤(1996년 기준)에 달하고 있는데, 분이 63.2%, 뇨가 36.8%를 차지하고 있으며 이 중 양돈분뇨는 전체의 32.6%인 1,400만톤에 이르고 있다.

축산분뇨는 제대로 관리하지 못하면 수질오염 등 환경오염원으로 작용할 수 있어 지속적인 증가추세에 있는 가축 사육두수와 그에 따른 축산분뇨 발생량에 대하여 기술적, 행정적, 사회적으로 집중적이고 다각도의 연구개발과 산업화 및 현장적용이 시급한

축산업의 존립과 직결되는 문제로 최근의 축산업 현안 문제 중 가장 시급하고 중요한 문제로 인식되고 있다.

양돈분뇨는 주로 기계나 동력에 의존하여 인위적으로 처리하는 방법을 주로 이용하고 있는데, 근래 들어 자원화 즉 퇴비화 이용에 대한 기술과 장비의 보급이 활발하다.

그러나 양돈분뇨의 퇴비화를 위해서는 다량의 수분조절재가 필요한데, 대표적인 수분조절재인 톱밥의 공급량과 가격이 양돈경영 압박 요인으로 작용하기도 한다.

양돈분뇨를 퇴비화하기 위하여 사용하는 톱밥을 대체하기 위한 대체자원 개발에 대하여 다수의 연구와 현장적용 가치평가가 이루어지고 있으나 톱밥만큼의 효과를 발휘하지 못하고 퇴비의 경지환원 이후에 발생될 여러 가지 위험 요소에 대한 검증도 제대로 이루어지지 못한 실정이다.

한편 각종 산업폐기물은 엄청난 양이 발생되지만 대부분 폐기되고 있어 재활용 여부에 따라 가치가 크게 달라질 수 있다.

화력발전소에서 발생하는 석탄회는 대부분 매립, 폐기되고 있으며 일부 건축용 부자재 등 공업용으로 이용되고 있으나 농업적 이용은 토양개량제로서의 재활용을 검토하고 있는 정도이며 축산분뇨처리 부자재로 활용하기 위한 시도는 없었다.

따라서 본 연구는 양돈분뇨의 퇴비화를 위한 부자재를 개발할 목적으로 현재는 산업폐기물인 화력발전소에서 전력 생산후 폐기되는 석탄회(Fly Ash)의 톱밥 대체 효과와 석탄회의 양돈분뇨처리 부자재로

서의 가치를 구명하고자 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 시험설계

본 시험은 산업폐기물인 석탄회를 양돈분뇨의 퇴비화를 위한 부자재로 활용할 목적으로 석탄회의 양돈분뇨 부자재로서의 가치평가와 톱밥대체 효과를 구명하고자 실시하였는데, 양돈농가에서 톱밥을 이용한 교반식 발효퇴비화 방법으로 사용하는 톱밥을 대체가능한 석탄회의 혼합비율과 그에 따른 양돈분뇨의 퇴비화 발효에 미치는 영향을 분석하였다.

(Table 1)은 양돈분뇨의 퇴비화를 위한 부자재로 톱밥과 석탄회의 혼합비율에 따른 발효과정의 변화를 조사하기 위한 재료들의 혼합비율을 나타낸 것이다.

### 2. 시험재료

본 시험에 사용된 양돈분뇨는 모든 100두 규모의 양돈장에서 배출되어 스크레파에 의해 수거된 것으로 배출시 수분함량은 85%였다.

톱밥은 양돈농가에서 널리 이용하는 것으로 이물질과 목편, 수피 등을 제외한 상태로 이용하였으며, 수분함량은 35%였고, pH는 5.43이었다.

석탄회는 한국전력공사 삼천포 화력본부 제 2발전소에서 직접 수거한 것이며, 성형이나 가공을 하지 않은 상태로 이용하였다. 거의 완전 건조 상태였으며

Table 1. Mixing ratio of raw materials before composting(%)

Treatment	Materials	Swine Manure	Fly Ash	Sawdust
1		50	40	10
2		50	35	15
3		50	30	20
4		50	25	25
5		50	20	30
6		50	15	35
7		50	10	40

Table 2. Chemical characteristics and composition of fly ash

Item	Composition (%)	Item	Composition (ppm)
OM	8.29	Mn	304.5
T-N	0.05	Zn	166.4
CaO	4.57	Cu	58.6
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	7.76	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,022
SiO <sub>2</sub>	22.47		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	45.50		
Fe <sub>2</sub> O	5.32		
MgO	1.01		

pH는 13으로 강알칼리성을 나타내었다.

석탄회의 성분은 (Table 2)와 같다.

유기물은 8.29% 함유되어 있는 반면 Al과 Si함량이 각각 45.5% 및 22.47%로 다량 함유되어 있으며 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 2,022ppm으로 석탄회를 퇴비화 부자재로 활용할 경우 일부 붕소를 다량 요구하는 작물에는 특히 크게 영향을 미칠 것으로 예상되고, 하(1995)에 의하면 석탄회는 그 자체로 토양개량제로서 좋은 자원이며 무, 배추의 생육에 효과적이라 하였다.

### 3. 조사항목 및 분석방법

양돈농가의 현장조건에서 이루어진 본 시험은 양돈분뇨와 톱밥 및 석탄회의 혼합비율이 달라짐에 따른 퇴비화 과정의 제반 인자들의 경시적 변화를 조사하였다.

조사항목과 분석방법은 다음과 같다.

본 시험이 이루어진 양돈농가의 퇴비화 시설은 교반식 톱밥발효 퇴비화 시설이며 퇴비화 과정의 경시적 변화를 조사하기 위하여 온도는 14일까지 계속 측정하였으며, 매일 일정한 시간을 기준으로 표시하였고, 수분함량, pH, 유기물함량, 질소함량 및 C/N비의 변화는 재료를 혼합한 상태와 21일까지는 매주 시료를 채취하여 분석하였으며, 21일 이후에는 40일과 60일에 시료를 채취하여 이들 성분들의 경시적 변화를 분석하였다.

· 온도 변화: 퇴비화 발효기간 동안 발생하는 퇴

비 내부의 온도변화를 측정하기 위하여 양돈분뇨와 석탄회 및 톱밥 혼합물의 중심부에 환경관측시스템에 부착된 전자식 온도계를 이용하여 측정하였다.

· 수분함량: 시료 일정량을 일정한 간격으로 취하여 건조기에서 105°C로 항량이 될 때까지 건조시킨 후 건조전, 후의 무게차이로 수분함량을 측정하였다.

· pH: 시료 일정량을 취하여 증류수에 10배 희석한 다음 충분히 교반하여 정치시키고 그 상등액을 취하여 pH meter로 측정하였다.

· 유기물함량: 시료의 회분량은 600°C에서 3시간 동안 회화시켜 측정하고, 측정시료의 회분량을 제외한 나머지를 유기물량으로 환산하였다.

· 질소함량: 시료중의 총질소 함량 분석은 Kjeldahl 방법으로 하였다.

· C/N 비: 시료 중의 유기물량을 총 질소량으로 나눈 값(%)

## III. 결과 및 고찰

### 1. 온도 변화

(Table 3)은 양돈분뇨와 톱밥 및 석탄회의 혼합비율에 따라 발효과정의 온도변화와 최고온도 도달일자를 나타낸 것으로 톱밥에 대한 석탄회 대체비율을 높여갈수록 발효과정의 온도상승이 늦어지는 경향이

었다. 반대로 톱밥혼합량이 많을수록 최고 온도 도달 일자가 짧아지고 발효에 유리한 것으로 나타났다.

퇴비화 과정의 온도변화는 퇴비화 반응의 진행여부라 할 미생물의 대사활동을 나타내는 지표로 볼 수 있는데, 퇴비물질의 분해작용이 일어나는지의 여부를 판단하는 기준이 되기도 한다.

최고온도 도달일자를 보면 석탄회를 톱밥보다 많이 혼합한 1~3번 처리에서는 각각 14일, 11일 및 7일에 최고온도인 49.0°C, 58.2°C 및 63.2°C에 도달하였으나, 석탄회와 톱밥을 각각 50%씩 혼합한 4번처리와 톱밥을 석탄회보다 많이 혼합한 5~7번 처리에서는 3일째에 각각 63.5°C, 65.0°C, 67.5°C 및 64.5°C로 최고온도를 나타내었다.

석탄회를 톱밥 사용량의 50%로 대체하였을 경우 최고 온도 도달이 3일만에 이루어지고 있으나 석탄회를 톱밥 사용량의 50%보다 많이 대체할 경우 온도 상승이 늦어져 퇴비화 발효에 지장이 있을 것으로 사료된다.

따라서 양돈분뇨의 퇴비화 과정의 온도상승과 온도변화를 볼 때 석탄회의 최대 대체가능량은 톱밥의 50%라고 할 수 있다.

## 2. 수분함량의 변화

(Table 4)는 양돈분뇨와 톱밥 및 석탄회의 혼합비율에 따른 발효과정의 수분함량 변화를 나타낸 것으로 퇴비화 부자재의 수분흡수능력과 퇴비화 과정에서 증발되는 수분량을 추정할 수 있다.

재료들의 혼합시에는 톱밥 혼합량이 많을수록 수분함량이 높았는데, 이는 석탄회의 수분흡수능력을 반영하는 것이다.

퇴비화 과정의 미생물의 활발한 활동을 위해서는 적당한 수분함량이 필요하다. 30% 이내에서는 미생물 반응이 저하되며 20% 이하에서는 반응이 불가능하고 반대로 너무 높은 수분함유는 입자표면으로의 공기확산이 불량해져 호기적 상태의 유지가 어려워 발효에 나쁘게 영향한다.

## 3. pH 변화

(Table 5)는 양돈분뇨와 톱밥 및 석탄회의 혼합비율에 따라 발효과정에서 일어나는 퇴비화물의 pH 변화를 나타낸 것이다.

Table 3. Changes in the temperature during the swine manure composting(°C)

Days	Treatment						
	1	2	3	4	5	6	7
0	16.8	16.9	16.5	16.4	16.2	17.0	16.3
1	17.0	17.2	18.4	28.0	27.5	34.0	38.0
2	18.0	18.1	21.3	43.9	43.0	47.2	52.5
3	16.3	15.8	18.7	63.5	65.0	67.5	64.5
4	16.0	15.0	24.0	47.0	62.0	49.0	42.0
5	15.7	15.3	31.0	28.0	34.0	28.0	26.5
6	16.0	16.0	53.0	22.0	25.0	22.0	22.0
7	16.7	17.1	63.1	24.8	26.0	25.9	28.7
8	17.0	22.6	41.0	29.8	31.0	32.8	36.1
9	17.0	38.0	25.6	29.0	32.4	33.0	32.0
10	17.4	55.5	20.5	27.5	30.0	28.9	27.2
11	18.5	58.2	20.0	26.0	28.0	26.0	24.2
12	19.9	51.0	21.6	26.2	26.0	24.0	23.0
13	39.0	48.0	22.8	24.0	25.3	22.8	21.6
14	49.0	41.2	23.8	24.2	24.7	22.0	21.7

pH는 퇴비화에 관여하는 미생물의 활동에 중요한 인자이나 인위적 조절은 쉽지 않다.

일반적으로 퇴비화 초기에는 유기물질 분해에 의하여 중간생성물인 유기산이 생성되어 pH가 약간 낮아진다고 하는데, 본 시험결과도 일자가 진행되면서 약간씩 낮아지는 경향을 나타내고 있다.

전체적으로 pH가 높은 경향을 나타내고 있는데 이는 양돈분뇨의 퇴비화 부자재로 이용된 석탄회의 pH가 13이며 석탄회가 함유한 칼슘이온의 용출에 의한 것으로 사료된다.

60일간 발효후의 최종 pH는 6.95~10.09 범위였는데, pH 8.5 이상이면 암모니아가 날아가버려 비료 가치가 떨어진다고 알려져 있으며, pH 7.0~8.0의 약알칼리성의 퇴비는 화학비료의 사용으로 산성화된 토양에 적용하면 토양을 중화시켜 완충능력을 증대시킬 것으로 사료된다.

따라서 양돈분뇨의 퇴비화 과정에 나타난 pH 변화를 고려하면 톱밥의 50%를 석탄회로 대체하면 양질의 퇴비를 생산할 수 있을 것으로 사료된다.

Table 4. Changes in the moisture content during the swine manure composting(%)

Treatment Days	1	2	3	4	5	6	7
0	47.01	50.11	53.56	53.74	55.66	58.07	60.09
7	46.97	48.25	52.61	53.19	54.15	57.65	58.98
14	45.76	46.43	50.08	50.87	49.87	51.46	51.95
21	44.19	44.97	49.40	47.41	46.21	50.74	51.58
40	43.24	43.63	49.10	46.60	45.75	50.28	49.43
60	42.58	42.09	45.74	48.97	49.08	55.41	54.17

Table 5. Changes in the pH value during the swine manure composting

Treatment Days	1	2	3	4	5	6	7
0	11.13	9.30	8.37	8.60	8.57	8.46	8.55
7	10.73	10.18	9.79	8.97	9.31	9.22	9.41
14	10.68	9.95	9.55	9.04	9.18	9.22	9.32
21	10.34	9.62	9.05	9.10	9.21	9.25	9.26
40	9.45	8.98	8.47	7.96	7.54	7.69	7.65
60	10.09	8.44	8.57	7.56	7.76	6.95	7.40

Table 6. Changes in the total nitrogen content during the swine manure composting

Treatment Days	1	2	3	4	5	6	7
0	0.354	0.330	0.421	0.563	0.629	0.667	0.638
7	0.290	0.425	0.449	0.453	0.560	0.575	0.584
14	0.418	0.398	0.437	0.411	0.503	0.604	0.651
21	0.383	0.343	0.362	0.466	0.537	0.672	0.760
40	0.363	0.365	0.695	0.371	0.375	0.519	0.602
60	0.372	0.385	0.425	0.455	0.706	0.708	0.715

#### 4. 질소함량 변화

양돈분뇨와 톱밥 및 석탄회의 혼합비율에 따라 발효 과정에서 일어나는 질소함량 변화는 (Table 6)과 같다.

퇴비화 과정에서 나타나는 총질소 함량의 변화는 미생물의 활동에 의하여 암모니아 질소로의 소실과 부자재의 성질에 따라 차이를 나타내게 된다.

본 시험에서는 발효가 진행됨에 따른 질소함량의 변화는 일정한 경향이 나타나지 않았으나, 재료들의 혼합시에는 톱밥량이 많을수록 증가되었는데, 이는 재료의 성분함량에 기인된 것으로 사료된다.

#### 5. C/N비의 변화

(Table 7)은 톱밥과 석탄회의 혼합량을 달리하여 양돈분뇨를 퇴비화하는 과정에 일어나는 C/N비의 변화를 나타낸 것이다.

C/N비는 퇴비의 부숙도를 판단하는 기준으로 이용되기도 하지만, C/N비는 원료에 따라 일정하지 않기 때문에 퇴비의 부숙도를 결정하는 완벽한 기준이라 할 수는 없다.

본 시험에 사용된 재료들의 특성상 질소함량이 낮고, 반대로 유기물함량이 높아 일반적인 퇴비화 과정의 적정 C/N비 보다는 높은 수준을 나타내고 있다.

양돈분뇨와 톱밥 및 석탄회의 혼합시 C/N비는 톱밥 혼합량이 많을수록 높아졌으며, 60일 경과후에도 같은 경향을 나타내었는데, 이는 재료의 성분에 기인된 것으로 보인다.

최종 C/N비 대비 초기 C/N비가 0.75 이하이면 퇴

비화가 완료되었다고 하는데(AGHTM, 1975), 본시험 결과는 석탄회를 활용하는 양돈분뇨 퇴비화는 석탄회 특성상 발효에 일부 지장을 초래할 가능성을 나타내는 것으로 이 부분은 향후 석탄회를 활용한 양돈분뇨 퇴비의 토양과 작물에 미치는 영향에 관한 연구 등의 더 많은 연구가 이루어져야 하는 필요성을 시사하고 있다.

### IV. 결론

양돈분뇨의 퇴비화를 위한 부자재로서 석탄회의 재활용을 위한 본 시험결과 퇴비화 과정의 온도변화, pH 변화, 수분함량 변화, 질소함량 변화 및 C/N비의 변화를 종합할 때 양돈분뇨 퇴비화에 이용되는 대표적인 부자재인 톱밥의 50%를 석탄회로 대체하여도 발효과정에 문제가 없는 것으로 사료되며 이에 대한 경제적인 효과는 막대할 것으로 예상된다. 또한 석탄회의 축산용 자원재활용 효과 및 석탄회 혼합 가축분뇨퇴비의 작물 및 토양에 대한 영향 등에 관하여 앞으로 더 많은 연구가 요망된다.

### 참고문헌

1. AGHTM(Association Generale des Hygienistes et Techniciens Municipaux), 1975, Residus Urbains Technique et Documentation, AGHTM.
2. Aitken, R.L., and L.C. Bell, 1985, Plant up take and phytotoxicity of boron in Australian fly ashes, Plant and soil 84, pp.245-257.

Table 7. Changes in the C/N ratio during the swine manure composting

Treatment Days	1	2	3	4	5	6	7
0	50.72	43.50	58.16	53.89	47.23	57.59	65.27
7	46.52	43.19	44.46	53.08	51.41	62.41	64.60
14	32.69	43.61	46.40	52.37	46.62	50.21	67.28
21	32.89	46.89	48.90	55.84	53.56	49.76	59.89
40	37.90	45.27	46.37	50.63	45.86	57.07	67.43
60	42.31	42.55	45.30	51.94	41.51	54.39	59.89

3. Bono, J.J. et al, 1991, Bench-Scale composting of two agricultural wastes, *Bioresource Technology*, 40.
4. Devaras. L.A., R.G. Escalada and B.F.Quirol, 1988, Effect of fly ash on the growth and yield of sweet potato, *Ann. Trop. Res.* 4, pp.85-91.
5. Doran, J.W. and D.C. Martens, 1972, Molybdenum availability as influenced by application of fly ash to soil, *J. Environ. Qual.* 1, pp.186-189.
6. El-Mogazi, D., D.J.Lisk and L.H.Weinstein, 1988, A review of Physical, Chemical and Biological Properties of Fly Ash and Effects on Agricultural Ecosystems, *Sci. Total Environ.* 74, pp.1-37.
7. Ferraiolo, G., M. Zilli, and A. Converti, 1990, Fly ash disposal and utilization, *J. Chem. Tech. Biotechnol.* pp.281-305.
8. Haug. R.T. and Haug. L.A., 1978, Sludge Composting, A Discussion of Engineering Principles Part 142, *Compost Science/Land Utilization Journal of Waste Recycling*, Jan.-Feb.
9. Higgins, A.J., 1984, Management Techniques for Minimizing Risk of Sludge and Compost Use, *Managing Sludge by Compost*, The JG Press, Emmaus, p.229.
10. Higgins, A.J., Kaplovsky, A.J. and Hunter, J.V., 1982, Organic Composition of Aerobic, Anaerobic, and Compost-Stabilized Sludges, *J. WPCF*, Vol. 54, No.5
11. Poincelot, R. P., 1977, The Biochemistry of Composting, *Proc. National Conf. on Composting of Municipal Residues on the Sludges*, Information Transfer, p.33.
12. Robert, R., 1992, *On farm composting handbook*, NRAES.
13. Wallace, A., and G.A. Wallace, 1986, Enhancement of the effect of coal fly ash by a polyacrylamide soil conditioner on growth of wheat, *Soil Science* 141, pp.387-388.
14. Westphal, P. A. and Christensen, G. L., 1983, Lime Stabilization: Effectiveness of Two Process Modification, *J. WPCF*, Vol. 55, No. 11, 1381-1386
15. Willson, G.B. and Epstein, E., 1976, A Forced Aeration System for Composting Waste Water Sludge, *J. WPCF*, Vol. 48, No.4, pp.688-694.
16. Yocom, J.E. and Duffe, R.A., 1970, Controlling Industrial Odors, *Chem. Eng.* Vol. 77, No. 13, pp.160-168.
17. 農文協, 1995, 畜産環境大事典, 日本.
18. 노재성 등, 1993, 무기계 일반폐기물을 수분조절재로 한 축분의 퇴비화, 충남대학교 지역개발연구소 지역개발논총 5, pp.13-34.
19. 농림수산부, 1996, 농림수산통계연보.
20. 축협중앙회, 1994, 퇴비화 시설의 설계.
21. 하호성, 1995, 산업폐기물(석탄회, 석고, 폐각)이 토양개량과 작물생육에 미치는 영향.
22. 한국전력공사, 1994, 석탄회 이용가치와 재활용 기술.