

石炭灰(Coal fly ash)의 養豚糞尿處理 副資材 代替利用에 關한 研究

정희식, 서정운*

경상남도청 축산과, 창원대학교 환경공학과*

Effect of Substituting Coal Fly Ash of Sawdust as a Bulking Agent for Swine Waste Composting

Hee-Sik Chung, Jeoung-Yoon Seo*

Dept. of Livestock raising, Kyongsangnam-do province, Changwon 641-702, Korea

*Dept. of Environmental Engineering, Changwon National University,
Changwon 641-773, Korea

ABSTRACT

This study was carried out to investigate how much coal fly ash could be substituted for sawdust as a bulking agent for livestock waste composting. The mixtures of coal fly ash and sawdust in the weight ratio of 8 to 2, 7 to 3, 6 to 4, 5 to 5, 4 to 6, 3 to 7 and 2 to 8 were added to livestock waste as the bulking agent. The same amount of the bulking agents and livestock waste was mixed and composted during 21 days. Following effects were analyzed during composting experiment : the variation of temperature, pH and various compound contents. The results were summarized as follows: The more the sawdust was added, the higher the maximum temperature in slurry type livestock farm but faster it reached in scrapper type.

Water content was maintained under good condition by adding the bulking agent mixed of the same amount of coal fly ash and sawdust.

pH was in the range of 7~10 by adding the bulking agent mixed of the same amount of coal fly ash and sawdust.

The more the sawdust was added, the higher organic matter content was measured.

Nitrogen content with increasing the amount of sawdust added but it was higher did not showed any tendency Organic matter/Nitrogen ratio reduced during the composting period in scrapper type but it showed contrary tendency in slurry type with that of scrapper type.

Key Words : Bulking agent, Livestock, Coal fly ash, Sawdust, Scrapper type, Slurry type

초 목

본 연구는 축산분뇨 퇴비화시 부자재인 톱밥을 석탄회로 대체하기 위하여 수행하였다. 축산분뇨와 톱밥의 혼합비율을 부피비 1:1로 고정하고 이때 톱밥을 어느 정도 석탄회로 대체 가능한지를 조사하였다. 각 혼합비율에 대해 조사된 톱밥과 석탄회의 혼합비율은 부피비로 40:10, 35:15, 30:20, 25:25, 20:30, 15:35, 10:40이었다. 축사에서 스크레퍼 방식과 슬러리 방식에 의하여 배출되는 축산분뇨, 톱밥과 석탄회를 앞에서와 같은 혼합비율로 섞은 부자재를 부피비 1:1로 혼합하여 퇴비화하면서 온도, 수분, pH, 유기물, 질소 및 유기물/질소 비 등을 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

온도의 변화는 슬러리 방식보다 스크레퍼 방식에서 톱밥비율이 높을수록 빨리 최고온도(63.5℃)에 도달하였다. 수분 함량의 변화는 스크레퍼 방식 및 슬러리 방식 공히 톱밥과 석탄회를 부피비로 동일비율(1:1) 혼합하였을 때 42%와 54% 범위의 수분함량으로 발효에 비교적 좋은 조건을 유지하였다. pH는 분뇨, 톱밥, 석탄회 비율 50 : 25 : 25 투입시 전체적으로 pH 7~10으로 약알카리성 내지 알카리성이었다. 유기물함량은 톱밥 혼입량이 석탄회보다 많을수록 증가되나 퇴비화가 진행됨에 따라 별다른 변화는 보이지 않았다. 질소함량은 톱밥 혼입량 증가에 따라 늘어났으나, 발효과정 진행에 따라서는 일정한 경향을 나타내지 않았다. 유기물/질소 비는 톱밥 혼입량이 증가할수록 증가하였지만, 발효과정 중 큰 변화는 볼 수 없었다.

주제어 : 수분조절제, 가축분뇨, 석탄회, 톱밥, 스크레퍼 방식, 슬러리 방식

1. 서 론

1960, 70년대 농가에서 발생하는 축산분뇨 및 오수는 대부분 농지의 비료로 사용되어 큰 문제가 되지 않았으나, 1980년대에 들어서면서 축산업에 종사하는 가구 수는 줄어드는 반면, 사육두수가 증가하여 대규모 집단화 사육과 사육시설의 지역 편중화로 심각한 환경오염을 초래하고 있다(서정운, 1998). '96년 말 기준 우리나라 전체의 축산분뇨 발생량은 113,000 ton/day로 이중 75%는 처리되고 25%는 방류됨으로써 심각한 수질오염을 유발시키고 있다(김영진, 1997; 서정운, 1998). '96년 말 현재 축산농가에 설치된 개별농가 축산분뇨 처리시설은 총 71,157개소로서, 자원화 처리시설이 74.2%인 52,795개소, 정화방류 처리시설이 25.8%인 18,363개소로 대부분의 시설이 퇴비화·액비화 등

의 자원화 시설이다.

축산농가에서 가장 많이 사용하는 수분조절제로 톱밥을 들 수 있으나 Green Round(GR)의 여파로 인하여 원목수입이 줄어 톱밥공급은 한계에 도달, 농가에서는 구입에 어려움을 겪고 있으며 또한 정부에서는 톱밥수급의 확충을 추진하고 있으나 경제적 비효율성으로 효과를 기대하기 어려우며, 대체물질인 왕겨, 대패밥, 생석회, 활성탄 등도 수량의 한계, 작물에 대한 영향 등의 문제점이 상존하고 있어 축산농가에서 손쉽게 이용하기 어려운 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 톱밥대체물질로 석탄회(Coal fly ash)를 이용하였다. 우리나라에서는 연간 약 320만톤('97년말 현재)의 석탄회가 발생되고 있으며 이중 27.2%인 87만톤 정도가 재활용되고 있다(한전산업개발, 1998). 이처럼 재활용율이 저

조한 이유는 거의 대부분이 회 처리장에서 투기되기 때문이다. 그러므로 한없이 쏟아져 나오는 석탄회를 버리지 않고 재활용하는 방안이 절실히 요구되고 있다(한전기술연구원, 1994).

본 연구는 양돈분뇨의 수거방식이 다른 축산농가에서 배출되는 분뇨를 대상으로 퇴비화 시험을 하였다. 본 연구의 최종목적은 축산분뇨의 자원화에 필수적으로 요구되는 톱밥이나 왕겨를 대체할 수 있는 물질의 개발에 있으며, 부자재로는 경상남도 고성군 하이면 삼천포 화력발전소에서 배출되는 석탄회를 검사공에서 포대로 수거하여 실험에 이용하였다. 실험의 주요 내용은 축분을 퇴비화 할 때 수분조절제로서 많이 사용되는 톱밥을 어느 정도 대체할 수 있는가를 조사하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 실험재료

2.1.1 시료

(1) 분뇨

본 연구에서 사용된 분뇨는 경상남도 고성군 양돈농가에서 발생된 양돈분뇨를 사용하였다. 스크레퍼 방식에서 배출되는 양돈분뇨의 수분은 약 85% 정도였으며, 슬러리 방식의 경우는 약 92% 였다.

(2) 석탄회

석탄회는 한국전력 삼천포 화력본부에서 수집한 것이며, 성형이나 가공을 하지 않은 상태로 이용하였는데, 수분함량이 거의 없는 완전 건조상태였으며 pH 13으로 강알카리성을 나타내었다. 석탄회의 이용가치를 판단하기 위하여 석탄회의 수분흡수율을 측정하였고, 용수량 간이법으로 석탄회의 수분보유율을 측정하였다. 그 결과 수분흡수율은 48%였고, 용수간이법에 의한 수분보유율은 34%로서 석탄회가 빠른 시간내에 수분흡수와 수분배출이 용

이한 소재로 판정하였다.

(3) 톱밥

톱밥은 일반적으로 농가에서 널리 이용하고 있는 것으로 이물질과 목편, 수피 등을 제거한 상태로 사용하였으며, 수분함량이 35%였으며 pH는 5.43이었다. Table 1에 스크레퍼 방식과 슬러리 방식에서의 양돈분뇨 수분함량과 pH, 석탄회와 톱밥의 수분함량 및 pH에 관해서 나타내었다.

Table 1. Properties of Samples

	Swine Manure	Coal fly Ash	Sawdust
Moisture(%)	83~88/91~94	0.3~0.5	32~40
pH	7.2~7.5/6.2~6.4	12~13	5.4~5.7

2.1.2 실험장치

본 실험을 위한 발효조 규격은 70cm × 45cm × 35cm의 플라스틱통으로 제작하였다. 측면은 원활한 통기성을 위하여 미세한 공극을 가진 망을 설치하였고, 바닥은 분뇨의 손실을 방지하기 위하여 비닐을 이용하였다. 발효조의 용량은 분뇨와 석탄회 및 톱밥의 혼합물을 약 100kg 저장할 수 있는 용기였다. 축산농가 현장에 발효조를 설치 현장실험과 실험실 실험을 겸하였고, 매일 1회씩 교반하였다. 실험에 사용된 발효조를 Fig. 1에 나타내었다.

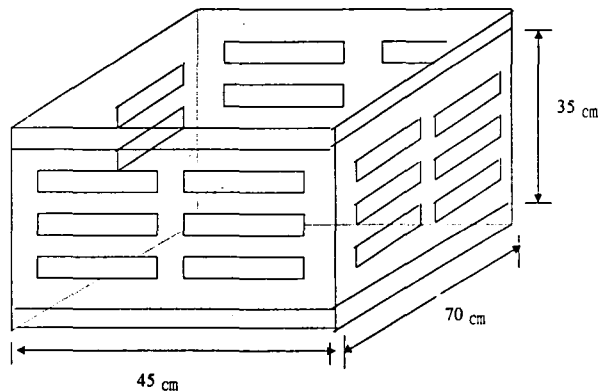


Fig. 1. Schematic diagram of small composter.

2.2 실험방법

이상과 같은 재료와 용기를 사용하여 가축분뇨와 석탄회의 적정 혼합비율을 결정하기 위하여 다음과 같은 방법을 사용하여 퇴비화 과정을 진행시키면서 일정한 간격으로 변화를 거듭하고 있는 제반 인자들을 분석하였다.

2.2.1 가축분뇨와 석탄회의 혼합비율

양돈장에서 발생하는 분뇨는 처리방식에 따라 스크레퍼 방식과 슬러리 방식으로 나눌 수 있는데, 본 연구에서는 기존 축산현장의 조건을 최대한으로 반영하여 스크레퍼 방식(돈분뇨의 수분함량 85%)과 슬러리 방식(액상돈분 수분함량 92%)으로 처리하는 분뇨 혼합액에 대한 석탄회의 적정 혼합비율을 결정하기 위한 실험을 실시하였다.

현재 축산현장에서 관행으로 이루어지고 있는 수분조절제로서 톱밥의 투입량은 부피 기준으로 분뇨 혼합물과 거의 같은 양으로 혼합하는데, 이때 혼합물의 수분함량은 65% 정도가 된다. 이것을 발효시켜 퇴비화하고 있다. 그러므로 축분을 퇴비화하기 위하여 첨가되는 톱밥의 양은 부피로 약 50%가 된다. 따라서 초기 투입되는 톱밥의 양을 50%로 고정하고 이중 어느 정도 석탄회로 대체가능한지를 조사하기 위하여 Table 2와 같이 혼합하여 적정 혼합비율을 조사하였다.

Table 2. Mixing Rate of Swine Manure, Coal Fly Ash and Sawdust

(unit : volume)

Materials No.	Swine Manure	Coal 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

2.2.2 분석방법

(1) 수분함량

분뇨와 석탄회 및 톱밥의 혼합물이 시간이 경과함에 따라 진행되는 퇴비화 과정에서 발생하는 수분의 증발을 측정하기 위하여 시료 일정량을 일정한 간격으로 취하여 105℃ 건조기에서 24시간 건조 후 수분함량을 측정하였다.

(2) 온도

시험기간 동안 발생하는 퇴비 내부의 온도변화를 측정하기 위하여 분뇨와 석탄회 및 톱밥 혼합물의 중심부에 온도계를 꽂아 온도 변화를 측정하였다.

(3) pH

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

(4) 유기물

회분량은 600℃에서 3시간 동안 회화시켜 측정하고 측정시료에서 회분량을 뺀 것을 유기물량으로 환산하였다.

(5) 총질소

Kjeldahl 방법으로 분석하였다(Schmidt, L., 1954).

(6) 유기물/질소 비

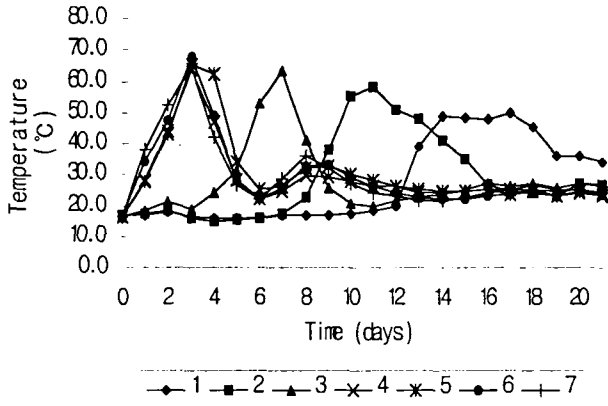
시료중의 유기물량을 총질소량으로 나눈 값으로 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 온도변화

3.1.1 스크레퍼 방식

Fig. 2는 스크레퍼 방식으로 수거한 양돈분뇨를 석탄회와 톱밥을 일정비율로 혼합한 퇴비화 과정의 온도변화를 나타낸 것이다.



※ No. 1~7 : See Table 3~4.

Fig. 2. Temperature evolution during the composting time by scrapper type.

톱밥에 대한 석탄회 대체비율이 60%(No. 3)인 경우 7일째에 63.1℃를 나타내고 있으나 50%를 대체할 경우(No. 4) 3일째에 63.5℃를 나타내고 있으며, 스크레퍼 방식에서의 최고도달 온도는 석탄회 대체비율이 15%(No. 6)에서 67.5℃로 가장 높게 나타났다. 톱밥비율이 높을수록 최고온도 도달시간이 짧아지고 발효에 유리한 것으로 나타났는데 이는 톱밥과 축분의 분해발열량(3000 ~ 4500kcal/kg)에 의한 온도변화가 원인으로 사료된다(축협중앙회, 1994).

3.1.2 슬러리 방식

Fig. 3은 양돈분뇨를 슬러리 방식으로 수거할 경우의 석탄회와 톱밥 혼합비율에 따른 퇴비화 과정의 온도변화를 나타낸 것으로 톱밥비율이 낮은 처리구(No. 1)는 최고 온도가 13.5℃를 나타내고, 톱밥과 석탄회 혼합비율이 같은 처리구(No. 4)는 24℃이며, 톱밥 혼합량이 증가할수록 온도상승폭이 큰 것으로 나타났다. 슬러리 방식에서의 최고온도는 톱밥혼합량이 가장 많은 처리구(No. 7)에서 41.5℃로써 가장 높게 나타났다.

이상과 같이 스크레퍼 방식과 슬러리 방식에서 양돈분뇨의 퇴비화 과정 중 온도변화에서 보듯이 석탄회와 톱밥을 부자재로 혼합하여 퇴비화 시킬

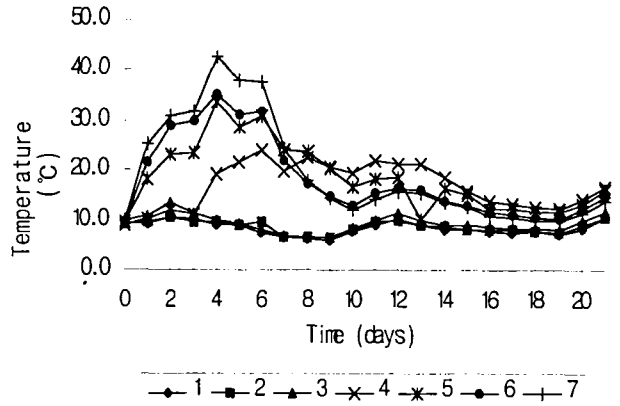


Fig. 3. Temperature evolution during the composting time by slurry type.

경우 톱밥에 대해서 석탄회는 최소한 50%정도의 대체효과를 기대할 것으로 사료된다.

3.2 수분함량 변화

3.2.1 스크레퍼 방식

수분은 미생물의 세포구성의 요소이며, 또한 미생물은 영양분을 물에 용해된 것만 흡수하게 되므로 퇴비물질 중의 함유율은 미생물의 발아나 증식에 있어 중요한 인자 중 하나이다. Fig. 4는 스크레퍼 방식에서의 석탄회와 톱밥 혼합비율에 따른 퇴비화 과정의 수분변화를 나타낸 것이다. 톱밥과 석탄회를 동일비율로 혼합한 경우(No. 4)가 최초 45.02%에서 40일, 60일 경과 후에 각각 31.00%, 30.01%를 나타내었다.

따라서 60일이 경과 한 후에 수분함량이 낮아 취급 및 후숙에 좋은 조건을 나타내고 있다. 나머지의 경우도 시간의 경과에 따라 수분함량이 감소하였다.

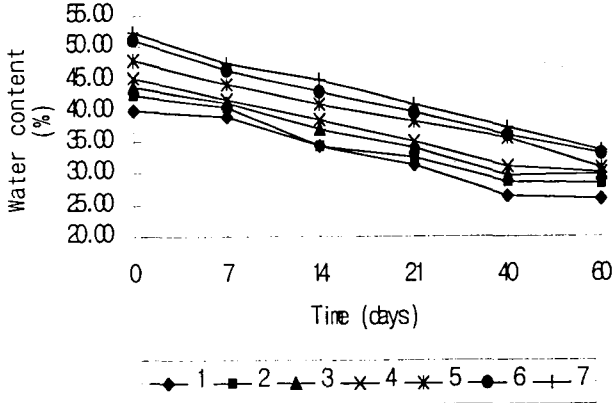


Fig. 4. Water content evolution during the composting time by scrapper type.

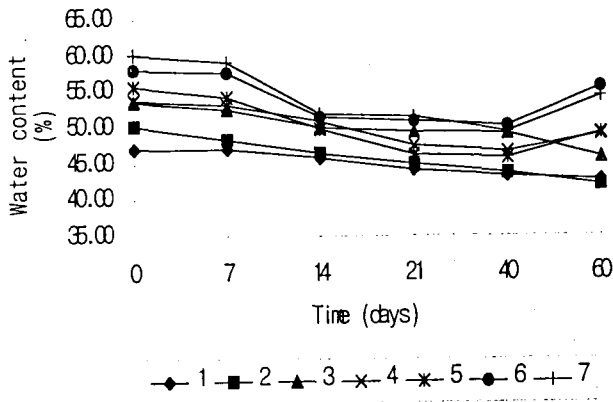


Fig. 5. Water content evolution during the composting time by slurry type.

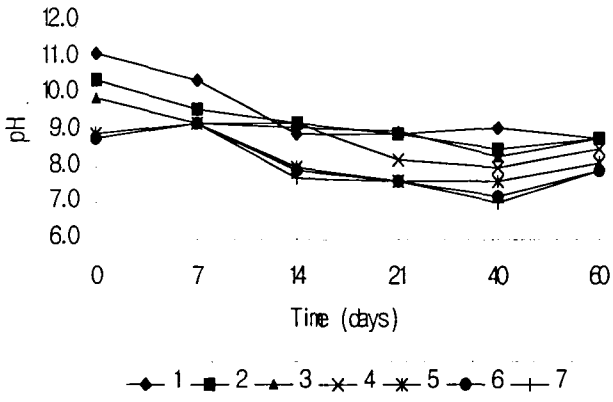


Fig. 6. pH value evolution during the composting time by scrapper type.

3.2.2 슬러리 방식

Fig. 5는 슬러리 방식에서의 수분변화를 나타낸 것이다. 톱밥과 석탄회를 동일비율로 혼합한 경우(No. 4) 46.60~53.74 % 범위의 수분함량을 나타내고 있어 취급 및 후숙에 좋은 조건을 나타내고 있다. 슬러리 방식의 경우 석탄회의 혼합율이 높은 경우 수분함량은 시간의 경과에 따라 감소하였으나 톱밥의 혼합율이 높은 No. 6과 7의 경우에는 시간의 경과에 따라 감소하다 다시 증가하였다.

따라서 가축분뇨 퇴비화 과정에서 적절한 수분을 유지하기 위해서는 석탄회와 톱밥의 혼합비율을 동일비율로 적용하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

3.3 pH 변화

Fig. 6, 7은 석탄회와 톱밥의 혼합비율에 따른 스크래퍼, 슬러리 방식의 pH변화를 나타낸 것이다. 스크래퍼 방식에서는 No. 1, 2, 3에서처럼 석탄회의 혼합비율이 높은 경우 초기 pH가 높게 나타났는데 이것은 석탄회 자체 pH의 영향으로 사료된다. 이 실험에서 사용된 석탄회의 pH는 13으로 강알칼리성을 나타내었다. 슬러리 방식의 경우 분뇨의 수분함량이 높아 혐기성 분해과정 중 산 생성 반응이 일어나 초기의 pH가 스크래퍼 방식보다는 낮게 나타난 것으로 사료된다. 그 결과 초기보다 7일이 경과한 후의 pH는 증가하였고, No. 1의 경우는 석탄회의 혼합비율이 높아 초기에는 석탄회 자체의 영향으로 pH가 높게 나타난 것으로 사료된다. 전체적으로 pH 7~10의 범위로 약알칼리성 혹은 알칼

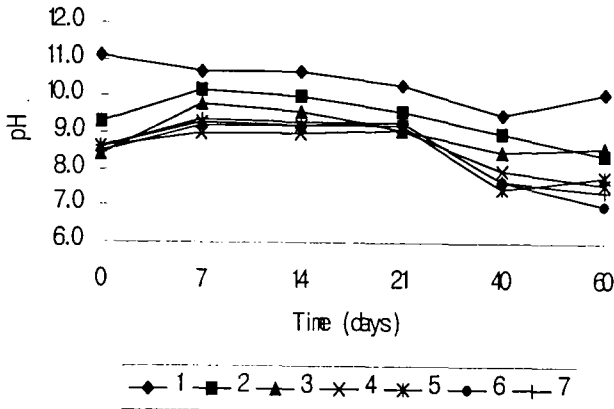


Fig. 7. pH value evolution during the composting time by slurry type.

하여 부자재로 사용하였을 때 스크래퍼, 슬러리 방식으로 수거한 양돈분뇨의 퇴비화 과정 중의 유기물함량 변화를 나타낸 것이다. 양돈분뇨의 경우 유기물은 대부분이 분에 함유되어있다(건국대학교 동물자원연구센터, 1997). 그 결과 분의 양이 많은 스크래퍼 방식에서 유기물의 함량이 높게 나타났다.

톱밥 혼합량이 증가할수록 유기물함량이 증가되나 퇴비화 과정의 진행에 따른 변화는 보이지 않는 것으로 나타났다.

리성을 띄어 산성토양에 적용될 경우 완충능력이 증대될 것으로 사료된다.

3.5 총질소함량 변화

3.4 유기물함량의 변화

일반적으로 분 중의 질소성분은 무기화가 늦다. 이와 반대로 뇨의 질소성분은 쉽게 무기화 된다(건국대학교 동물자원연구센터, 1997). 질소는 분뇨성

Table 3, 4는 석탄회와 톱밥을 일정비율로 혼합

Table 3. Organic Matter Evolution During the Composting Time by Scrapper Type (Unit : %)

No. Days	1	2	3	4	5	6	7
0	17.95	14.36	24.48	30.34	29.71	38.41	41.64
7	13.49	14.11	19.96	24.05	28.79	35.89	43.57
14	13.66	17.36	20.28	25.11	28.79	30.33	43.80
21	12.60	16.08	24.94	26.02	28.76	33.44	42.28
40	13.86	16.52	22.33	25.32	28.92	35.52	41.59
60	15.74	16.38	19.25	23.63	29.31	38.51	42.82

Table 4. Organic Matter Evolution During the Composting Time by Slurry Type (Unit : %)

No. Days	1	2	3	4	5	6	7
0	11.86	15.18	18.96	21.07	28.07	29.68	38.43
7	12.02	19.31	21.14	27.64	27.64	31.35	40.96
14	11.92	22.13	19.92	30.37	30.37	34.51	39.88
21	14.86	22.85	21.70	29.39	29.39	32.50	41.03
40	18.60	22.91	26.25	34.20	34.20	45.17	52.77
60	20.26	17.87	17.87	26.06	26.06	27.10	35.21

Table 5. Total Nitrogen Evolution During the Composting Time by Scraper Type (Unit : %)

No. Days	1	2	3	4	5	6	7
0	0.35	0.33	0.42	0.56	0.63	0.67	0.64
7	0.29	0.43	0.45	0.45	0.56	0.58	0.58
14	0.42	0.40	0.44	0.45	0.55	0.60	0.65
21	0.38	0.34	0.52	0.47	0.54	0.67	0.64
40	0.36	0.37	0.47	0.46	0.60	0.69	0.67
60	0.37	0.39	0.43	0.46	0.71	0.71	0.72

Table 6. Total Nitrogen Evolution During the Composting Time by Slurry Type (Unit : %)

No. Days	1	2	3	4	5	6	7
0	0.59	0.42	0.41	0.48	0.52	0.54	0.63
7	0.39	0.44	0.44	0.58	0.59	0.76	0.62
14	0.39	0.43	0.45	0.56	0.62	0.62	0.83
21	0.45	0.47	0.52	0.48	0.52	0.58	0.51
40	0.45	0.54	0.55	0.58	0.56	0.85	0.78
60	0.37	0.39	0.39	0.49	0.46	0.42	0.55

Table 7. Organic Matter/Total Nitrogen Ratio Evolution During the Composting Time by Scraper Type

No. days	1	2	3	4	5	6	7
0	51.3	43.5	58.3	54.2	47.2	57.3	65.1
7	46.5	32.8	44.4	53.4	51.4	61.9	75.1
14	32.5	43.4	46.1	55.8	52.3	50.6	67.4
21	33.2	47.3	48.0	55.4	53.3	49.9	66.1
40	38.5	44.6	47.5	55.0	48.2	51.5	62.1
60	42.5	42.0	44.8	51.4	41.3	54.2	59.5

Table 8. Organic Matter/Total Nitrogen Ratio Evolution During the Composting Time by Slurry Type

No. days	1	2	3	4	5	6	7
0	20.1	36.1	46.2	43.9	54.0	55.0	61.0
7	30.8	43.9	48.0	47.7	46.8	41.3	66.1
14	30.6	51.5	44.3	54.2	49.0	55.7	48.0
21	33.0	48.6	41.7	61.2	56.5	56.0	80.5
40	41.3	42.4	47.7	59.0	61.1	53.1	67.7
60	54.8	45.8	45.8	53.2	56.7	64.5	64.0

분 중에서 수질오탁과 농작물 피해에 큰 영향을 끼치는 원소이다. 일반적으로 분보다는 뇨의 질소함량이 높기 때문에 슬러리 방식의 초기 질소농도가 높게 나타났다.

총질소 함량은 퇴비화 과정 중 암모니움태 질소의 소실정도와 부자재의 성질에 따라 차이를 나타내는데 톱밥 혼합량이 증가할수록 총질소함량이 증가되고 있다.

Table 5, 6에 석탄회와 톱밥을 일정비율로 혼합하여 부자재로 사용하였을 때 스크레퍼, 슬러리 방식으로 수거한 양돈분뇨의 퇴비화 과정 중의 총질소함량 변화를 나타내었다. 총질소 함량이 퇴비화 과정 진행에 따라서는 일정한 경향이 나타나지 않았다.

3.6 유기물/전질소 비의 변화

유기물/전질소 비는 퇴비기준으로 50이하를 유지하여야 한다(농림부, 1997). 양돈분뇨의 경우 유기물은 거의 대부분 분에 함유되어 있기 때문에 분은 유기물/전질소 비가 크며 뇨는 적다(전국대학교 동물자원연구센터, 1997). 그렇기 때문에 스크레퍼 방식보다는 슬러리 방식의 유기물/전질소 비가 대체로 낮게 나타났다. 다른 항목의 경우 석탄회와 톱밥이 동일비율로 혼합되었을 때 양호한 결과가 나타났으나 유기물/전질소 비의 경우는 석탄회와 톱밥의 혼합비율이 30 : 20인 No. 3에서 퇴비기준인 50이하를 충족시켰다. 두 가지 방법 모두 톱밥 혼합량이 증가할수록 유기물/전질소 비는 증가되었다. 그 결과를 Table 7, 8에 나타내었다.

4. 결 론

석탄회의 가축분뇨처리 부자재 대체 이용에 관한 연구는 가축분뇨의 퇴비화 처리시 가장 많이 활용되는 톱밥 대체품목을 개발하려는 목적으로 수행되었으며, 온도, 수분, pH, 유기물, 질소 및 유기물/

질소 비의 변화 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 온도의 변화는 슬러리 방식보다 스크레퍼 방식에서 톱밥비율이 높을수록 빨리 최고온도(63.5℃)에 도달하였다.
2. 수분 함량의 변화는 스크레퍼 방식 및 슬러리 방식 공히 톱밥과 석탄회를 부피비로 동일비율(1:1) 혼합하였을 때 42 %와 54 % 범위의 수분함량으로 발효에 비교적 좋은 조건을 유지하였다.
3. pH는 분뇨, 톱밥, 석탄회 비율 50 : 25 : 25 투입시 전체적으로 pH 7~10으로 약알카리성 내지 알카리성이었다.
4. 유기물함량은 톱밥 혼입량이 석탄회보다 많을수록 증가되나 퇴비화 진행에 따른 별다른 변화는 보이지 않았다.
5. 질소함량은 톱밥 혼입량 증가에 따라 늘어났으나, 발효과정 진행에 따라서는 일정한 경향을 나타내지 않았다.
6. 유기물/질소 비는 톱밥 혼입량이 증가할수록 증가하였지만, 발효과정 중 큰 변화는 볼 수 없었다.

참 고 문 헌

- 전국대학교 동물자원연구센터(1997), "축산분뇨처리 기술개발".
- 김영진(1997), 축산폐수관리정책 및 지원방향 『축산관리정책 및 신기술』, 부산대학교 환경문제연구소.
- 김은경(1995), "회전교반식 퇴비화 설비의 운전조건 개선에 관한 연구", 창원대학교 환경대학원.
- 농림부(1997), "비료공정규격 개정"

서정윤(1998), 축산폐수처리의 문제점 및 개선방안 『축산환경반 교재』, 경상남도 지방공무원교육원.

성순희(1995), “가정쓰레기 퇴비화 수분조절제로서 석탄회의 이용가능성에 관한 연구”, 창원대학교 대학원.

축협중앙회(1994), “퇴비화 시설의 설계”.

한전기술연구원(1994), “토양 개량제로서의 석탄회 이용연구”.

한전산업개발주식회사(1998), “석탄회 재활용 현황”.

한정대(1996), “수분조절재의 특성과 방안”, 가축분뇨 자원화 심포지움 pp.51~61.

Schmidt, L.(1954), Die Untersuchung von Duengermitteln, Methodenbuch II, Neuman Verlag, Radebeul und Berlin.