

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) Int. Cl.⁷
C05F 3/00

(45) 공고일자 2001년06월 15일

(11) 등록번호 10-0292885

(24) 등록일자 2001년03월27일

(21) 출원번호 10-1998-0047770

(65) 공개번호 특2000-0031635

(22) 출원일자 1998년11월09일

(43) 공개일자 2000년06월05일

(73) 특허권자 고영두
경남 진주시 칠암동 42-16
(72) 발명자 고영두
경상남도 진주시 칠암동 42-16
(74) 대리인 고영회

심사관 : 홍순철

(54) 석탄재를 이용한 축사 바닥 깔짚

요약

본 발명은 가축들이 배설하는 분뇨에 화력발전소에서 부산물로 발생하는 석탄재와 톱밥등을 섞어 이를 퇴비로써 제조한 축분퇴비 및 축사 바닥에 깔짚용으로 통상 사용하는 톱밥에 석탄재를 주원료로 혼합하여 냄새 제거와 교체 시기의 연장효과를 얻을 수 있는 축사 바닥 깔짚에 관한 것이다.

석탄재를 이용한 축분퇴비는 축분에 수분조절재로써 톱밥과 석탄재를 혼합하여 발효시킨 퇴비이며, 축분에 톱밥과 석탄재를 각각 축분 용량의 40-60% 혼합하여 발효시킨 것이다.

축사 바닥 깔짚은 통상적으로 깔짚으로 사용하는 톱밥에 석탄재를 직경 30mm 정도의 구형 입자로 가공하여 톱밥과 석탄재를 1:1의 비율로 혼합한 것이다.

본 발명의 석탄재를 이용한 축분퇴비 및 축사 바닥 깔짚을 이용함으로써, 환경폐기물로써 버려지고 있는 석탄재를 자원으로 재활용하는 것이 가능하고, 화력 발전소 인근의 바다오염을 감소시킬 수 있으며, 석탄재가 혼합된 발효퇴비는 양질의 유기질 비료로서 pH의 상승 및 무기물질에 의한 토양개량 효과와 작물의 생산성을 높일 수 있다. 또한, 톱밥에 석탄재를 혼합한 축사 바닥 깔짚을 이용함으로써 깔짚 교체기간을 4-5배 연장할 수 있어 비용과 노동력의 절감은 물론 가축의 설사 방지 및 돈사내 가스 발생 억제로 호흡기 질병 예방효과가 높으며, 구더기 발생 및 기생충 발생을 억제할 수 있다.

명세서

[발명의 명칭]

석탄재를 이용한 축사 바닥 깔짚

[발명의 상세한 설명]

[발명의 목적]

[발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술]

본 발명은 석탄재를 이용한 축사 바닥 깔짚에 관한 것이다. 보다 구체적으로는, 화력발전소 등에서 발생하는 석탄재와 톱밥을 혼합한 축사 바닥 깔짚에 관한 것이다.

가축의 사육 과정에서 발생하는 분뇨와 오수는 환경을 오염시키는 주요 원인 중의 하나이며, 최근에는 가축의 분뇨 처리와 관련한 법적 규제가 강화되어 국내의 축산업은 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다. 가축의 분뇨나 오수를 처리하기 위한 방법으로서는 발효퇴비화, 정화, 건조 및 화학적 처리 등의 여러 가지가 있으나, 경제성과 효율성 면에서 가장 선호되고 있는 방법은 발효퇴비화 방법이다.

가축 분뇨를 퇴비화하기 위해서는 축분의 수분을 조절하는 것이 중요하며, 수분조절재로써 종래에는 톱밥을 많이 이용하고 있었다. 그러나, 톱밥은 국내에서 이용하고 있는 원목을 대부분 수입에 의존하고 있어 가격이 비싸고 공급에 한계가 있으며, 톱밥 같은 목질물은 퇴비화에 장시간이 소요되고, 화학비료보다 부피가 많고 운반 시비 등에 노력이 많이 소요되는 여러 가지 문제점들이 있다. 톱밥을 대체할 수 있는 소재로는 왕겨, 분쇄왕겨, 팽연화 왕겨, 대패밥, 생석회, 천연포졸란, 활성탄 종류, 발효축분재 등이 있으나 수량의 한계, 퇴비화의 문제점, 발효퇴비의 판매 또는 작물에의 영향 등 각종 문제점이 상존하고 있다.

한편, 톱밥공급의 한계성을 감안하여 수분조절재용 부자재로써 생석회를 이용한 화학반응 방법, 혐기 소화 후 고액분리하여 압착 펠릿화하는 공법, 태양열 또는 화력을 이용한 분뇨의 물리적 건조방법 등이 이용되고 있으나, 기술적으로 안정되지 못하고 있으며 경제성 등의 제약요인이 많아 현장 적용이 어렵다.

따라서, 본 발명자는 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 화력발전소에서 발생하는 석탄재(Fly Ash)를

수분조절재로 이용한 축분퇴비를 개발함으로써, 산업폐기물의 재활용은 물론이거니와 양축농가의 재정적 부담을 경감시키고 환경오염을 감소시킬 수 있도록 하였다. 뿐만 아니라 석탄재는 축사에서 발생하는 가축분뇨의 냄새를 제거할 수 있는 능력이 있어 톱밥과 혼합하여 축사 바닥의 깔짚이므로써도 이용할 수 있다.

[발명이 이루고자 하는 기술적 과제]

본 발명의 목적은 가축의 분뇨와 오수를 석탄재를 이용하여 퇴비화함으로써 경제성이 우수한 축분퇴비 및 그 제조 방법을 제공하는 것이다.

본 발명의 다른 목적은 화력발전소의 부산물인 석탄재를 축산 퇴비 제조에 이용함으로써 산업폐기물의 재활용은 물론 쓰레기 매립장의 부족과 환경오염의 문제를 동시에 해결할 수 있는 방법을 제공하는 것이다.

본 발명의 또 다른 목적은 산성화된 우리나라 토양의 개량에 효과가 있어 각종 농작물이나 사료작물 또는 원예작물의 수확 증대에 효과가 큰 축분퇴비 및 그 제조 방법을 제공하는 것이다.

본 발명의 또 다른 목적은 축사에서 발생하는 냄새를 줄일 수 있고 가축의 건강에도 좋으며, 교환 주기가 길어 노동력을 절감할 수 있고 경제성 있는 축사 바닥의 깔짚을 제공하는 것이다.

[발명의 구성 및 작용]

본 발명의 석탄재를 이용한 축분퇴비는 축분에 수분조절재로써 톱밥과 석탄재를 혼합하여 발효시킨 퇴비이며, 각각 축분 용량의 40~60%의 톱밥과 석탄재를 혼합하는 것이 바람직하다. 축사 바닥 깔짚은 통상적으로 깔짚으로 사용하는 톱밥에 석탄재를 구형 입자로 가공하거나 원상태로 혼합한 것으로, 석탄재와 톱밥은 1:1의 비율로 혼합하며, 성형할 경우 석탄재의 15% 정도의 황토, 지오라이트, 석회석 또는 석고를 첨가하여 30mm 정도의 구형 입자로 성형한 후 톱밥과 혼합한다.

석탄재는 화산재와 같은 물질로서 미세한 분말상태이며, 주성분은 규사이고 입자 모양은 구형(球形)으로 천연 포졸란(pozzolan)과 같은 특성을 가지므로 인공포졸란 또는 현대적인 화산재라고도 불린다. 이것은 석탄화력발전소에서 미분탄 연소의 부산물로 발생되고, 전기집진기나 백 하우스(Bag House)에서 포집되며 플라이애쉬로 생산된다. 입자의 모양은 다공성 구형입자와 단단한 구형입자로 구성되어 있으며 대부분의 석탄재는 시멘트색이다. 화학적으로는 강알칼리성으로 규산질 비료의 효과를 가지고 있다. 석탄재는 성분 자체가 식물의 유체이므로 식물이 토양에서 흡수한 각종 원소를 함유하고 있다. 간이실험에 의한 수분흡수율은 3시간 내에 48%로써 톱밥이나 왕겨에 비해 단시간에 수분을 흡수한다.

수분조절재로 널리 사용되고 있는 톱밥을 석탄재로 대체하는 적정 비율을 결정하기 위하여 톱밥과 석탄재의 비율을 표 1과 같이 변화시켜 가면서 시험을 실시하였으며, 양돈장에서 발생하는 분뇨의 처리방식은 스크레이퍼 방식(수분함량 85%) 과 슬러리 방식(수분함량 92%)으로 구분할 수 있는 바, 각각에 대해서 시험을 실시하였다.

[표 1]

혼합비율

| 번 호 | 돈 분 | 석탄재 | 톱 밥 |
|-----|-----|-----|-----|
| 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 |

시험에 사용한 돈분, 석탄재 및 톱밥의 함수율과 pH는 표 2와 같다. 석탄재는 삼천포 화력본부에서 직접 수집한 것으로 성형이나 가공을 하지 않은 상태로 수분함량이 거의 없는 완전 건조상태였으며 산도는 13으로 강알칼리성이었다. 톱밥은 일반적으로 농가에서 널리 이용하고 있는 것으로 이물질과 목편, 수피 등을 제거한 상태로 이용하였는데, 수분함량이 35%였으며 산도는 5.43이었다.

[표 2]

양돈분뇨, 석탄재 및 톱밥의 특성

| | 돈 분 | 석 탄 재 | 톱 밥 |
|--------|-------------|-------|------|
| 함수율(%) | 85 / 92 | 0.3 | 35 |
| pH | 7.26 / 7.29 | 13 | 5.43 |

* 돈분 : 스크레이퍼 방식 / 슬러리 방식

석탄재의 화학적 성분은 표 3과 같으며, Al_2O_3 , SiO_2 및 CaO 가 약 64%를 차지하고 있으며 중금속은 미량이거나 거의 없었다.

[표 3]

석탄재의 화학적 성분

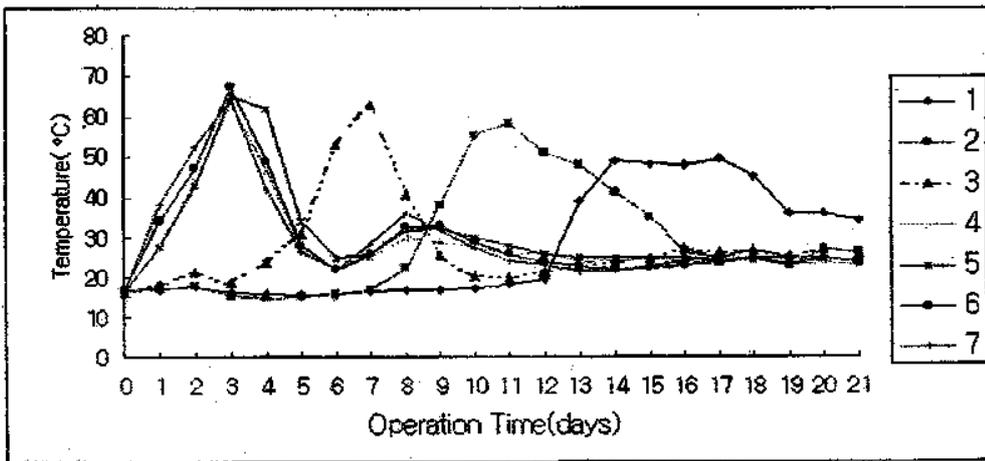
| 구 분 | % | 구 분 | mg/kg |
|-----------|------|----------|-------|
| Al_2O_3 | 31.4 | MnO_2 | 243 |
| SiO_2 | 21.2 | Cl | 230 |
| CaO | 11.4 | B_2O_3 | 219 |
| SO_4 | 5.9 | Cr | 54 |
| Fe_2O_3 | 3.8 | As | 39.6 |
| P_2O_5 | 2.5 | ZnO | 35 |
| K_2O | 2.1 | Pb | 29.5 |
| MgO | 0.3 | Cu | 19.4 |
| Na_2O | 0.2 | Cd | 7.9 |

본 시험을 위한 발효조는 크기가 70cm x 45cm x 35cm인 플라스틱 바구니를 사용하였으며 밀폐되지 않고 통기성이 양호한 상태로 분뇨와 석탄재 및 톱밥의 혼합물을 약 100kg 저장할 수 있는 용기였다.

시험항목은 온도, pH 및 수분함량을 측정하였다. 온도는 분뇨와 석탄재 및 톱밥 혼합물의 중심부에 온도계를 꽂아 온도 변화를 측정하였으며, pH는 시료 일정량을 취하여 증류수에 10배 희석한 후 충분히 교반하여 정치시키고 그 상등액을 취하여 pH meter로 측정하였으며, 수분함량은 시료 일정량을 일정한 간격으로 취하여 수분함량을 측정하였다.

도 1은 스크레이퍼 방식으로 수거하는 양돈분뇨를 석탄재와 톱밥을 일정비율로 혼합하였을 때 퇴비화 과정의 온도변화를 나타낸 것이다. 톱밥에 대한 석탄재 대체비율이 30%인 경우 7일째에 63.1℃를 나타내고 있으나 50%를 대체할 경우 3일째에 63.5℃를 나타내고 있으며, 최고도달 온도는 석탄재 대체비율이 15%에서 67.5℃로 가장 높게 나타났다. 톱밥비율이 높을수록 최고온도 도달일자가 3일로 짧아지고 발효에 유리한 것으로 나타났는데, 이는 톱밥과 축분의 분해발열량 (3,000~4,500 kcal/kg)에 의한 온도변화가 원인으로 판단된다.

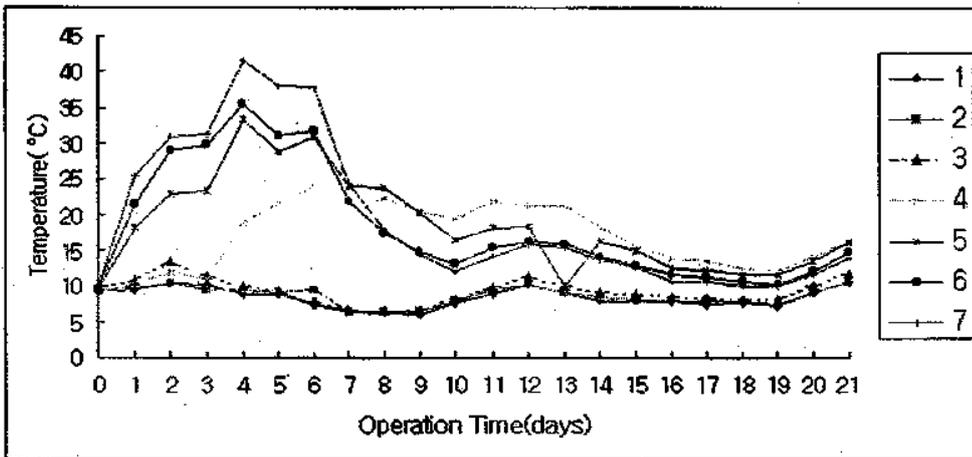
[도 1]



도 2는 양돈분뇨를 슬러리 방식으로 수거할 경우의 석탄재, 톱밥 혼합비율에 따른 퇴비화 과정의 온도변화를 나타낸 것으로 톱밥비율이 낮은 처리구는 최고 온도가 13.5°C를 나타내고, 톱밥과 석탄재 혼합비율이 같은 처리구는 24°C이며, 톱밥 혼합량이 늘어날수록 최고온도가 상승하는 것으로 나타났다.

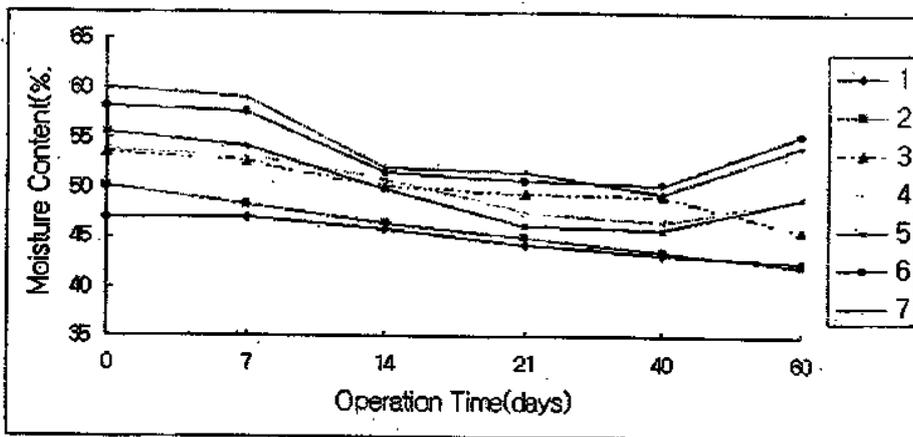
따라서 석탄재와 톱밥을 부자재로 혼합하여 양돈분뇨의 퇴비화 과정의 발효를 시킬 경우 석탄재를 톱밥에 대하여 50% 대체하는 것이 좋다.

[도 2]



도 3은 스크레이퍼 방식의 경우 석탄재와 톱밥 혼합비율에 따른 퇴비화 과정의 수분변화를 나타낸 것으로, 수분함량은 유기물의 퇴비화에 영향을 미치는 중요한 인자 중의 하나이다. 톱밥과 석탄재를 동일 비율로 혼합한 경우가 최초 53.74%에서 40일, 60일 경과 후에 각각 46.6%, 48.97%를 나타내어 정상적인 퇴비화 발효조건이 됨을 나타내고 있다.

[도 3]

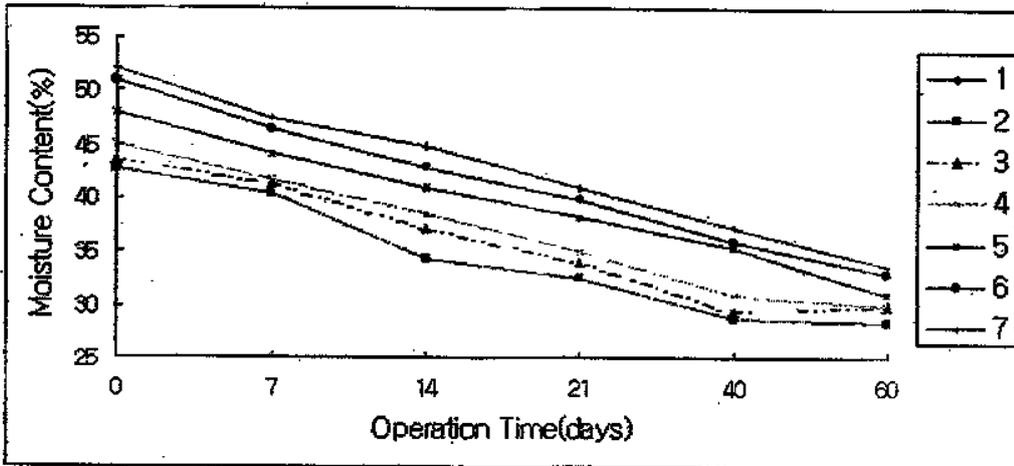


도 4는 슬러리 방식의 경우 수분변화를 나타낸 것이다. 톱밥과 석탄재를 동일비율로 혼합한 경우 30~45%

범위내의 수분함량을 나타내고 있어 발효에 비교적 좋은 조건임을 알 수 있다. 슬러리 방식의 경우 석탄재의 혼합비율이 높을 경우 수분함량은 시간의 경과에 따라 감소하다가 다시 증가하였다.

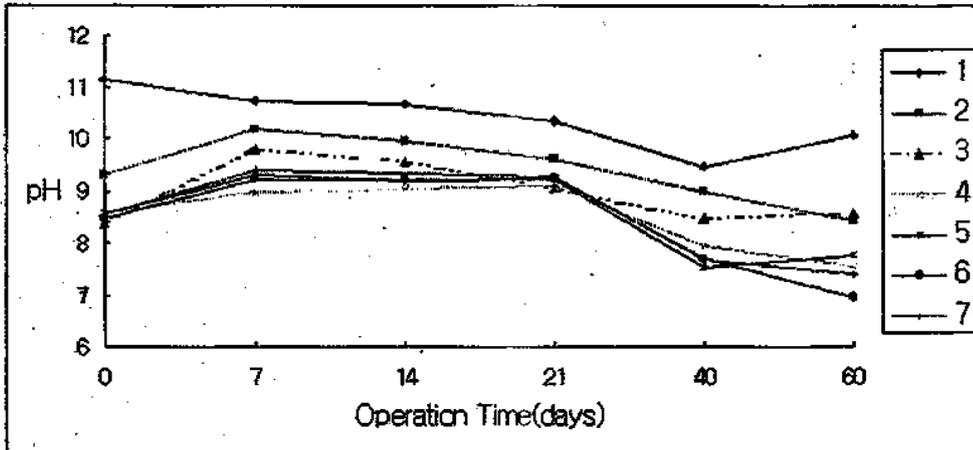
따라서 가축분뇨 퇴비화 과정의 수분변화에 대한 석탄재와 톱밥의 혼합비율은 동일비율로 적용하는 것이 바람직하다.

[도 4]

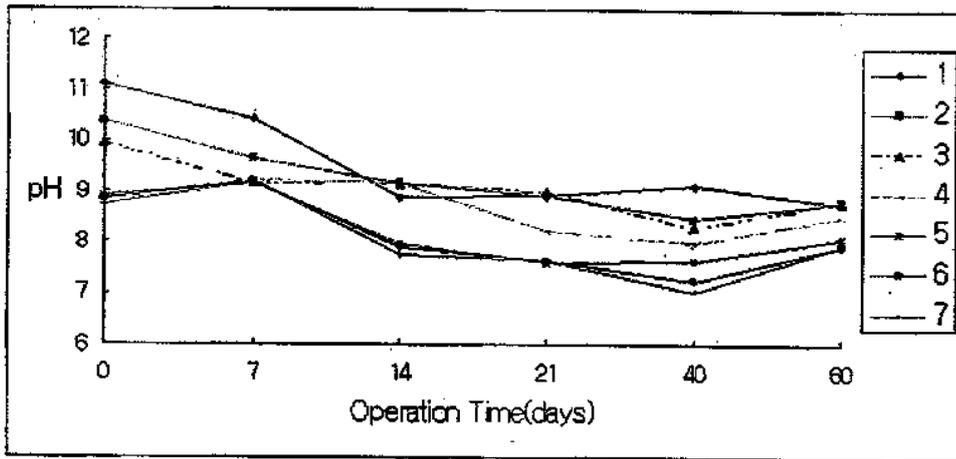


도 5와 도 6은 석탄재와 톱밥의 혼합비율에 따른 스크레이퍼, 슬러리 방식의 산도변화를 나타낸 것이다. 스크레이퍼 방식에서는 No. 1, 2, 3에서처럼 석탄재의 혼합비율이 높을 경우 초기 산도가 높게 나타났는데, 이러한 현상은 석탄재 자체의 산도(pH 9.95)의 영향이 큰 것으로 사료된다. 슬러리 방식의 경우에는 분뇨의 수분 함량이 높아 혐기성 분해과정 중 산 생성 반응이 일어나 초기 산도가 스크레이퍼 방식보다는 낮게 나타난 것으로 사료된다. 그 결과 초기보다 7일이 경과한 후의 산도는 증가하였으며, No. 1의 경우에는 석탄재 자체의 영향으로 산도가 높은 것으로 생각된다. 스크레이퍼 방식과 슬러리 방식 모두 발효과정 초기에는 약간 증가하였다가 21일 이후로 진행될수록 약간씩 감소되는 것으로 나타났으며 전체적으로 pH 7-10 범위로 약알칼리성 혹은 알칼리성을 띄어 토양에 적용될 경우 완충능력이 증대될 것으로 판단된다.

[도 5]



[도 6]



따라서 이상과 같이 온도, 수분 및 산도 변화를 종합해 볼 때 스크레이퍼방식과 슬러리방식으로 수거한 양돈분뇨의 퇴비화를 위한 부자재로서 석탄재의 가치는 톱밥 50% 정도와 대체가 가능하고, 50% 대체한 경우가 퇴비화 발효에 상대적으로 양호한 조건이라고 종합할 수 있다.

본 발명에 의한 축분퇴비의 성능을 확인하기 위하여 본 발명의 축분퇴비의 성분을 분석하고, 경남축산진흥연구소 사료작물포에 옥수수, 호맥 및 알팔파를 각각 표준시비량에 준하는 수준으로 사용하여 작물의 수량과 영양생산량을 비교분석하고 작물의 파종전 토양성분과 작물을 수확한 후의 토양성분을 비교하여 석탄재를 혼합한 축분퇴비가 토양에 어떤 영향을 미치는가를 분석하였다. 비교실시에 1은 퇴비를 처리하지 않고 분뇨만을 사용하였으며, 비교실시에 2, 3, 4는 우분, 돈분 및 계분에 톱밥을 상기 우분, 돈분 및 계분의 양과 같은 양을 혼합하였으며, 실시예 1, 2, 3은 우분, 돈분 및 계분에 톱밥 및 석탄재를 상기 우분, 돈분 및 계분의 50%씩을 각각 혼합하여 60일 부숙시킨 후 사용하였다.

우분은 분뇨를 로더, 트랙터 혹은 인력수거방식으로 수거하여 퇴비사에서 무배출 분뇨혼합처리방법으로 처리하였으며 매일 1회 교반하였다. 분뇨처리장에서 30일간 처리한 후 40일간 후숙하였다. 돈분은 스크레이퍼 방식으로 수거하였고 고액 분리하지 않고 분뇨를 혼합하여 교반식 기계발효시설(로타리 교반기 부착)이 설치된 분뇨처리장으로 옮겨 톱밥과 혼합하여 퇴비화하는 무배출 분뇨 혼합처리 방법을 이용하였다. 매일 1회씩 교반하며 20일간 처리한 후 40일간 후숙하였다. 계분은 자동화 케이지 하부에 설치된 계분 이송벨트로 수거하였고 계분처리시설은 교반식 기계발효시설(로타리식)로 무배출 퇴비화 방법을 사용하였다. 1일 1회 교반하고 발효조 내에서 20일간 처리한 후 40일간 후숙하였다.

토양시료 채취는 포장정지가 끝나고 퇴비를 사용하지 않은 상태에서 채취하였고, 퇴비를 사용한 토양은 퇴비를 사용한 직후와 작물수확 후 채취하여 분석하였다. 각 단위 시험구 면적은 $3.3m^2$ 로 하였으며 각 작물에 대한 비료 3요소 시비와 재배방법은 관행에 준하였다. 퇴비 사용량은 옥수수의 경우 연간 80톤/ha 범위 내로 하였다.

우분, 돈분 및 계분과 톱밥을 혼합한 퇴비 및 톱밥 혼합량의 50%를 석탄재로 대체한 우분, 돈분 및 계분 퇴비의 성분을 분석 결과는 표 4와 같다.

[표 4]

축분퇴비의 성분

| 구 분 | pH | EC | 유기물 | 인산 | T-N | K | Ca | Mg | Fe |
|---------|-------|--------|-------|------|------|------|------|------|-------|
| | (1:5) | (dS/m) | (%) | | | | | | |
| 비교실시예 2 | 8.57 | 5.40 | 50.97 | 2.53 | 1.26 | 0.84 | 0.50 | 0.50 | 0.80 |
| 비교실시예 3 | 7.75 | 7.34 | 71.07 | 2.24 | 1.07 | 0.84 | 0.29 | 0.29 | 0.17 |
| 비교실시예 4 | 9.54 | 14.19 | 47.36 | 3.92 | 1.69 | 1.55 | 0.68 | 0.42 | 0.34 |
| 실시예 1 | 8.26 | 3.76 | 31.00 | 1.41 | 0.93 | 0.20 | 0.35 | 0.27 | 0.22 |
| 실시예 2 | 8.09 | 5.97 | 31.57 | 1.43 | 1.51 | 0.36 | 0.88 | 0.33 | 0.32 |
| 실시예 3 | 9.80 | 6.97 | 28.97 | 2.90 | 0.91 | 0.69 | 0.52 | 0.40 | 0.30 |
| 구 분 | Mn | Zn | Cu | Pb | Cd | Cr | Hg | As | B |
| | (ppm) | | | | | | | | |
| 비교실시예 2 | 420.6 | 445.7 | 100.9 | - | - | - | - | - | 49.7 |
| 비교실시예 3 | 223.4 | 520.4 | 103.9 | - | - | - | - | - | 97.5 |
| 비교실시예 4 | 379.5 | 431.0 | 86.4 | - | - | 52.7 | - | - | 89.8 |
| 실시예 1 | 56.4 | 157.6 | 41.5 | - | - | 37.6 | - | - | 77.6 |
| 실시예 2 | 76.7 | 218.8 | 95.2 | - | - | 40.9 | - | - | 126.2 |
| 실시예 3 | 114.6 | 255.2 | 31.3 | - | - | 44.3 | - | - | 103.7 |

석탄재를 혼합하지 않고 우분, 돈분 및 계분과 톱밥만으로 만들어진 퇴비는 석탄재가 혼합된 퇴비에 비하여 유기물 함량이 많았으며, 특히 톱밥계분퇴비가 총질소, 인산 및 칼리 함량이 많아 비료 3요소 성분이 가장 많이 함유된 것으로 나타났다. pH는 석탄재 혼합 여부에 따라서는 차이가 없었으나(7.75~9.80), 유기물 함량과 인산함량은 석탄재 혼합으로 현저하게 낮아지는 것으로 나타났다. 그 외에 Ca, Mg, Fe 등은 차이가 없었다. Mn, Zn 및 Cu는 석탄재 혼합으로 현저히 저하되었으나, Cr은 톱밥계분퇴비와 석탄재 혼합퇴비에서 나타났다. Pb, Cd, Hg 및 As는 석탄재를 혼합 여부에 관계없이 가축분뇨 퇴비에는 없는 것으로 나타났다. 특히, 석탄재를 혼합한 축분퇴비의 B 함량이 석탄재를 혼합하지 않은 퇴비보다 높게 나타나고 있는데, 이는 석탄재의 성분 중에 B 성분이 많은 것에서 그 이유를 찾을 수 있다.

상기와 같이 축분퇴비의 성분을 분석한 결과는 부자재로서 톱밥을 위주로 한 축분퇴비나 톱밥의 절반을 석탄재로 대체하여 제조한 축분퇴비에는 어떤 유해성분도 나타나지 않았으며, 석탄재는 가축분뇨처리 부자재로서 충분히 유효함을 알 수 있다.

표 5는 사료작물의 생산성을 분석하기 위한 시험포장의 토양성분을 나타낸 것이다. 일반적으로 우리나라 농경지 토양의 화학적 특성은 산성토양(pH 5.5), 유기물의 부족(0.9%), 낮은 유효인산 함량(100 ppm), 낮은 양이온교환용량 및 염기포화율을 나타내고 있다. 특히, 유기물은 토양의 생성작용에 관여할 뿐만 아니라 작물이 필요로 하는 다른 양분을 흡수, 보존한 후 이용율을 높여주는 작용을 하는 특성이 있으며, 우리나라의 기후 특성상 여름철 고온다우로 인하여 토양중의 탄산가스가 빗물에 녹아 탄산이 생성되어 토양중의 교환성 양이온을 녹여 토양의 산성화를 촉진시키기 때문에 낮은 pH는 작물재배에 있어 큰 문제가 된다.

[표 5]

시험포장의 토양성분

| 분석항목 | pH | EC | 인산 | 유기물 | K | Ca | Mg | Fe | |
|------|-------|--------|-------|------|-----------|------|------|-------|------|
| | (1:5) | (dS/m) | (ppm) | (%) | (me/100g) | | | (ppm) | |
| 성분 | 6.98 | 0.05 | 568.3 | 2.19 | 0.06 | 5.95 | 0.57 | 29.7 | |
| 분석항목 | Mn | Zn | Cu | Pb | Cd | Cr | Hg | As | B |
| | (ppm) | | | | | | | | |
| 성분 | 91.5 | 12.4 | 2.3 | - | - | - | - | - | 1.31 |

그러나 본 시험 포장의 토양조건은 토양산성도는 심한편이 아니며 식양질계의 유기물과 인산함량이 풍부한 토양이었다. 시험포장의 토양에서도 Pb, Cd, Cr, Hg 및 As 등 중금속 물질은 검출되지 않았다.

표 6은 퇴비를 처리별로 사료작물포에 시비하여 포장을 정지한 후 파종하기 직전의 시험포장의 토양성분의 분석 결과이며, 표 7은 미량성분의 분석 결과이다.

토양산도는 전체 처리구 모두 비교적 양호한 상태를 나타내고 있으며 유기물 함량의 차이를 나타내지 않고 있다. 그러나 인산함량은 석탄재를 혼합하지 않은 톱밥혼합퇴비구가 높은 경향을 나타내고 있으나 K, Ca 및 Mg은 차이가 없었다. Fe, Mn, Zn 및 Cu 성분은 석탄재 혼합 여부나 축종에 따른 일정한 경향을 나타내지 않았으나 B 함량은 석탄재를 혼합하였을 때 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 석탄재 자체에 B 성분이 많은 데서 기인한 것으로 보인다. 특히, B 작물생육에 영향을 주는 성분으로서 양질토양에서는 0.8-2.0 ppm이 적당하지만 석탄재 사용으로 다소 과량의 B 함량을 나타내었다. 그러나 작물 수확에 따른 과량의 B 함량이 미치는 피해는 나타나지 않았다. 따라서 우리나라 토양의 경우 B 결핍지역이 많으므로 석탄재를 작물퇴비로 사용할 경우 토양내 B 공급에 대한 의의는 대단히 크다고 할 수 있다. 또한 Pb, Cd, Cr, Hg 및 As 성분은 전체 토양에서 검출되지 않은 것으로 나타났다. 따라서 사료작물 재배를 위한 포장에 석탄재를 혼합한 퇴비를 사용할 경우에 작물에 축적되어 문제를 야기할 수 있는 유해 중금속이 전혀 검출되지 않아 가축분뇨의 퇴비화를 위한 부자재로서 석탄재의 사용상 아무런 문제가 없는 것으로 나타났다.

[표 6]

사료작물 파종전 축분퇴비를 사용한 시험포장의 토양성분

| 구분 | pH | EC | 유기물 | 인산 | K | Ca | Mg |
|---------|-------|--------|------|--------|-----------|------|------|
| | (1:5) | (ds/m) | (%) | (ppm) | (me/100g) | | |
| 비교실시예 1 | 6.98 | 0.05 | 2.19 | 568.3 | 0.06 | 5.95 | 0.57 |
| 비교실시예 2 | 7.26 | 0.43 | 2.86 | 1425.9 | 0.71 | 5.97 | 1.87 |
| 비교실시예 3 | 6.86 | 0.32 | 2.22 | 743.1 | 0.33 | 5.82 | 0.91 |
| 비교실시예 4 | 7.36 | 0.53 | 2.27 | 1185.3 | 0.96 | 6.33 | 1.43 |
| 실시예 1 | 7.03 | 0.39 | 2.94 | 903.4 | 0.28 | 6.72 | 1.57 |
| 실시예 2 | 6.82 | 0.36 | 2.58 | 770.3 | 0.30 | 6.76 | 1.24 |
| 실시예 3 | 7.31 | 0.30 | 2.32 | 751.8 | 0.44 | 6.59 | 1.04 |

[표 7]

사료작물 파종전 축분퇴비율 사용한 시험포장의 토양 미량성분

| 구 분 | Fe | Mn | Zn | Cu | Pb | Cd | Cr | Hg | As | B |
|---------|-------|-------|------|-----|----|----|----|----|----|------|
| | (ppm) | | | | | | | | | |
| 비교실시예 1 | 29.7 | 91.5 | 12.4 | 2.3 | - | - | - | - | - | 1.31 |
| 비교실시예 2 | 27.7 | 183.9 | 36.5 | 2.9 | - | - | - | - | - | 2.83 |
| 비교실시예 3 | 32.4 | 115.2 | 23.7 | 2.9 | - | - | - | - | - | 2.15 |
| 비교실시예 4 | 10.8 | 114.2 | 25.7 | 0.3 | - | - | - | - | - | 4.71 |
| 실시예 1 | 28.4 | 138.9 | 25.3 | 2.4 | - | - | - | - | - | 4.58 |
| 실시예 2 | 25.6 | 113.1 | 19.3 | 2.6 | - | - | - | - | - | 5.47 |
| 실시예 3 | 16.6 | 101.6 | 18.4 | 1.0 | - | - | - | - | - | 4.24 |

표 8은 옥수수를 수확한 후 시험포장의 토양성분을 분석한 결과이다. 토양의 산도는 석탄재가 혼합된 퇴비를 시비한 구에서는 pH 7 수준을 유지하고 있었으며 석탄재를 혼합하지 않은 퇴비 및 퇴비무시용구는 pH 6 수준을 나타내었다. 유기물과 인산 함량, K, Ca, Mg 함량은 석탄재 혼합 여부 및 축종에 따른 차이가 나타나지 않았다. 즉, 우분과 돈분에 석탄재를 혼합하여 사용할 경우에는 인산함량이 다른 구에 비하여 높게 나타나는데, 이와 같은 결과는 토양의 pH가 중성에 가까워질수록 Fe 및 Si과 결합한 인산의 함량이 가용성으로 변화하기 때문이라고 생각된다. 따라서 적당량의 석탄재를 가축분과 혼합하여 사료작물포에 사용하는 것은 토양에 축적되어 있는 인산을 가용화시켜 작물생육에 도움을 주게 되고 토양개량의 효과와 인산 과잉에 의한 환경공해를 막을 수 있는 방법이라 생각된다. 이러한 사실은 석탄재를 가축분노처리 위한 부자재의 50%를 대체하여 축분을 퇴비화하고 석탄재 혼합 퇴비를 사용함으로써 산성토양인 우리나라의 토양을 교정할 수 있어 전혀 부정적인 영향을 미치지 않고 있음을 나타내는 것이다.

[표 8]

옥수수 수확후 시험포장의 토양성분

| 구 분 | pH | EC | 유기물 | 인산 | K | Ca | Mg |
|---------|-------|--------|------|-------|-----------|------|------|
| | (1:5) | (ds/m) | (%) | (ppm) | (me/100g) | | |
| 비교실시예 1 | 6.66 | 0.05 | 1.55 | 189.3 | 0.04 | 5.21 | 0.45 |
| 비교실시예 2 | 6.84 | 0.08 | 3.15 | 841.1 | 0.16 | 5.86 | 1.12 |
| 비교실시예 3 | 6.80 | 0.07 | 2.22 | 577.5 | 0.16 | 5.43 | 0.80 |
| 비교실시예 4 | 7.15 | 0.03 | 2.84 | 986.9 | 0.45 | 6.43 | 1.33 |
| 실시예 1 | 7.09 | 0.09 | 2.99 | 900.4 | 0.10 | 6.01 | 1.09 |
| 실시예 2 | 7.16 | 0.09 | 2.89 | 795.3 | 0.12 | 6.44 | 0.93 |
| 실시예 3 | 7.23 | 0.08 | 2.53 | 783.6 | 0.21 | 6.24 | 0.93 |

표 9는 옥수수를 수확한 후 시험포장 토양의 미량성분을 분석한 결과로서 석탄재를 혼합한 가축분퇴비가 토양에 전혀 부정적인 영향을 미치지 않는다는 것을 나타내는 것으로 Pb, Cd, Cr, Hg 및 As 성분은 검출되지 않았다. 한편 B 성분은 퇴비무시용구인 비교실시예가 가장 낮았고 석탄재를 혼합하지 않은 톱밥우분퇴비, 톱밥돈분퇴비 및 톱밥계분퇴비를 사용했던 토양은 1.68~1.99ppm 이었으나 석탄재를 혼합하여 만든 석탄재우분퇴비, 석탄재돈분퇴비 및 석탄재계분퇴비를 사용한 토양은 2.32~ 1.68ppm을 나타내었다.

[표 9]

옥수수 수확후 시험포장의 토양 미량성분

| 구 분 | Fe | Mn | Zn | Cu | Pb | Cd | Cr | Hg | As | B |
|---------|-------|-------|------|-----|----|----|----|----|----|------|
| | (ppm) | | | | | | | | | |
| 비교실시예 1 | 3.9 | 70.4 | 8.6 | 2.3 | - | - | - | - | - | 1.02 |
| 비교실시예 2 | 37.9 | 116.1 | 31.3 | 3.5 | - | - | - | - | - | 1.68 |
| 비교실시예 3 | 34.4 | 103.0 | 21.7 | 3.2 | - | - | - | - | - | 1.87 |
| 비교실시예 4 | 26.3 | 89.4 | 33.5 | 1.3 | - | - | - | - | - | 1.99 |
| 실시예 1 | 32.9 | 101.7 | 22.0 | 2.7 | - | - | - | - | - | 2.32 |
| 실시예 2 | 25.4 | 105.8 | 21.1 | 2.7 | - | - | - | - | - | 2.68 |
| 실시예 3 | 16.3 | 90.7 | 19.5 | 1.8 | - | - | - | - | - | 2.34 |

표 10은 호맥을 수확한 후의 시험포장 토양성분을 분석한 결과이다.

특히, 석탄재의 사용은 사료작물포에 Ca, B 및 미량영양소를 다량 함유시키는 효과가있기 때문에 사료작물의 생육과 품질면에서 좋은 결과를 초래할 것으로 사료된다. 호맥 포장의 토양 역시 전반적으로 옥수수 재배 포장과 비슷한 경향을 나타내고 있는데, 토양 산도는 석탄재를 혼합한 퇴비를 사용한 토양이 양호한 상태임을 나타내고 있다. 토양중의 인산함량은 계분이나 석탄재가 혼합된 퇴비를 사용했던 토양이 우수한 것으로 나타나고 있으며, K, Ca 함량은 차이를 보이지 않았으나 Mg 함량은 계분과 석탄재를 혼합한 퇴비를 사용했던 토양에서 높게 나타났다. 이와 같이 높은 Mg 함량은 산성토양을 개량하는 효과가 있을 뿐만 아니라 인산성분을 공급해 주는 이중효과를 기대할 수 있기 때문에 사료작물포에 석탄재의 사용은 반드시 필요하다고 사료된다.

[표 10]

호맥 수확후 시험포장의 토양성분

| 구 분 | pH | EC | 유기물 | 인산 | K | Ca | Mg |
|---------|-------|--------|------|-------|-----------|------|------|
| | (1:5) | (ds/m) | (%) | (ppm) | (me/100g) | | |
| 비교실시예 1 | 6.65 | 0.05 | 1.70 | 413.1 | 0.03 | 5.15 | 0.45 |
| 비교실시예 2 | 6.79 | 0.06 | 2.43 | 745.6 | 0.11 | 5.35 | 0.87 |
| 비교실시예 3 | 6.68 | 0.07 | 2.43 | 680.8 | 0.20 | 5.44 | 0.79 |
| 비교실시예 4 | 7.06 | 0.09 | 2.74 | 853.9 | 0.38 | 5.73 | 0.94 |
| 실시예 1 | 6.91 | 0.08 | 2.22 | 727.3 | 0.11 | 5.81 | 0.95 |
| 실시예 2 | 7.15 | 0.09 | 3.10 | 847.0 | 0.23 | 6.39 | 1.06 |
| 실시예 3 | 7.10 | 0.07 | 2.68 | 779.3 | 0.31 | 6.09 | 0.92 |

표 11은 호맥을 수확한 후의 시험포장 토양의 미량성분을 분석한 결과로서 토양중의 Fe, Mn 및 Zn 함량은 퇴비무사용구인 비교실시예와는 큰 차이가 있었으나 석탄재 혼합여부에 따라서는 차이가 없었다. 호맥 재배 토양 역시 Pb, Cd, Cr, Hg 및 As 성분은 나타나지 않았는데, B 성분은 비교실시예가 가장 낮았고 석탄재를 혼합한 퇴비를 사용했던 토양이 높은 편이었다.

[표 11]

호맥 수확후 시험포장의 토양 미량성분

| 구 분 | Fe | Mn | Zn | Cu | Pb | Cd | Cr | Hg | As | B |
|---------|-------|-------|------|-----|----|----|----|----|----|------|
| | (ppm) | | | | | | | | | |
| 비교실시에 1 | 4.4 | 47.5 | 9.2 | 2.4 | - | - | - | - | - | 0.99 |
| 비교실시에 2 | 37.5 | 108.5 | 22.1 | 3.0 | - | - | - | - | - | 1.35 |
| 비교실시에 3 | 36.8 | 112.2 | 27.4 | 4.0 | - | - | - | - | - | 1.77 |
| 비교실시에 4 | 16.8 | 90.2 | 25.4 | 1.5 | - | - | - | - | - | 2.57 |
| 실시에 1 | 33.2 | 105.9 | 19.4 | 2.7 | - | - | - | - | - | 2.08 |
| 실시에 2 | 25.8 | 109.2 | 25.1 | 3.0 | - | - | - | - | - | 2.65 |
| 실시에 3 | 17.2 | 88.3 | 20.0 | 1.0 | - | - | - | - | - | 2.11 |

석탄재를 혼합한 퇴비가 사료작물 생산성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 옥수수, 호맥 및 알팔파를 공시하였으며, 각 작물을 파종하기 전 퇴비시용량은 우분퇴비 5톤/10a, 돈분퇴비 4톤/10a 및 계분퇴비 4톤/10a 기준으로 하였다.

작물별 파종량 및 파종방법은 옥수수의 경우 10a 당 3kg의 종자를 70cm × 20cm 간격으로 2알씩 점파하였으며 4-5엽기에 한 포기씩만 남기고 숙아주었다. 호맥은 10a 당 15kg의 종자를 20cm 간격으로 조파하였으며 알팔파는 10a 당 2.5kg 을 산파하여 수확은 1회 하였다.

표 12는 봄에 파종하여 여름철 사일리지용으로 재배하는 옥수수의 수확량이다. 생초수량은 퇴비무시용구인 비교실시에 1에서 7.46kg으로 가장 작게 나타났으며, 톱밥계분시용구는 9.43 kg으로서 비교실시에 1에 비하여 약 21%의 증수효과가 있었다. 축중에 따라서는 톱밥우분퇴비구가 7.96kg으로 가장 작았으며, 계분을 혼합한 톱밥과 석탄재구에서 높은 생초수량을 나타내었다. 석탄재를 혼합한 퇴비를 사용한 포장에서의 옥수수의 생초수량은 전반적으로 우수하게 나타났다. 이와 같은 결과는 건물수량 및 초장에서 같은 경향을 보이고 있으며, 10a당 건물수량은 톱밥계분퇴비시용구가 897.8kg(비교실시에 1보다 19% 증수)으로서 가장 많이 나타났으며, 석탄재를 혼합한 퇴비구는 비교실시에 1(726.3kg)에 비하여 약 10~13% 증수되었다. 이와 같은 결과는 본 시험 전반에 걸쳐 나타나고 있는 계분퇴비의 비료가치를 나타내는 결과 중의 하나라고 생각된다.

[표 12]

사용퇴비에 따른 옥수수 수확량 비교

| 구 분 | 생초수량 (kg) | 건물수량 (kg) | 10a당 생초수량 (kg) | 10a당 건물수량 (kg) | 총실무게 (kg) | 초장 (cm) |
|---------|--------------|--------------|----------------------|----------------------|--------------|------------|
| 비교실시예 1 | 7.46 | 2.42 | 2,238 | 726.3 | 3.07 | 260.4 |
| 비교실시예 2 | 7.96 | 2.56 | 2,388 | 768.5 | 2.39 | 267.4 |
| 비교실시예 3 | 9.09 | 2.75 | 2,727 | 825.4 | 3.04 | 267.4 |
| 비교실시예 4 | 9.43 | 2.99 | 2,829 | 897.8 | 3.02 | 285.0 |
| 실시예 1 | 8.73 | 2.74 | 2,619 | 822.2 | 3.01 | 260.2 |
| 실시예 2 | 8.34 | 2.70 | 2,502 | 810.0 | 2.36 | 264.8 |
| 실시예 3 | 8.89 | 2.77 | 2,667 | 831.7 | 2.38 | 273.7 |

표 13은 호맥의 수확량에 관한 것이다. 호맥의 생초수량은 석탄재를 혼합하여 만든 계분퇴비를 사용한 구가 8.96kg으로 가장 많았고 석탄재를 혼합하지 않더라도 타구에 비하여 계분퇴비구(7.49 kg)가 많은 생초수량을 나타내어 계분의 비료효능이 우수함을 나타내고 있다. 호맥의 10a당 건물수량 또한 계분퇴비가 319.5kg으로서 가장 많았으며 석탄재를 혼합한 퇴비구가 비교실시예 1(232.2 kg)에 비하여 약 14~21% 정도 증수되어 대체로 양호한 성적을 나타내고 있다. 따라서 비교적 다비성인 호맥에 대한 수량조사 결과는 석탄재가 가축분뇨의 퇴비화를 위한 부자재로서는 물론 퇴비의 비료효능면에서도 우수한 자원임을 입증하는 결과이다.

[표 13]

사용퇴비에 따른 호맥 수확량 비교

| 구 분 | 생초수량 (kg) | 건물수량 (kg) | 10a당 생초수량 (kg) | 10a당 건물수량 (kg) | 초장 (cm) |
|---------|--------------|--------------|----------------------|----------------------|------------|
| 비교실시예 1 | 5.42 | 0.774 | 1,626 | 232.2 | 59.6 |
| 비교실시예 2 | 5.37 | 0.881 | 1,611 | 243.4 | 51.4 |
| 비교실시예 3 | 6.91 | 0.932 | 2,072 | 279.8 | 58.7 |
| 비교실시예 4 | 7.49 | 1.065 | 2,246 | 319.5 | 62.1 |
| 실시예 1 | 6.90 | 0.976 | 2,070 | 292.9 | 59.8 |
| 실시예 2 | 6.91 | 0.968 | 2,072 | 290.5 | 60.2 |
| 실시예 3 | 8.96 | 0.954 | 2,169 | 286.2 | 61.4 |

표 14는 알팔파의 수확량이다. 알팔파에 대한 성적 또한 호맥과 마찬가지로 계분의 비료가치의 우수성을 잘 나타내고 있는데, 석탄재를 혼합한 가축분의 퇴비를 사용한 구가 톱밥축분시용구 보다 약 16.5~22%의 증수효과를 나타내고 있다. 특히, 석탄재-계분퇴비구(7.70 kg)는 비교실시예 1(5.05 kg)에 비하여 약 34.4%의 증수효과가 있었다. 전체적으로는 톱밥과 가축분의 혼합 여부에 관계없이 석탄재를 사용한 구가 많은 생초수량과 건물수량을 나타내고 있다. 특히, 알팔파의 경우 그 효과는 더욱 크게 나타나고 있다. 이러한 현상은 석탄재를 사용함으로써 사료작물포에서 질소(N)의 공급을 돕는 두과작물의 근류균에 대한 생존율을 증진시킨 결과로 사료되며, 또한 토양중 유기물의 분해에 필요한 미생물의 활동 증진 및 토양중

양분의 유효화에 대한 효과라고 사료된다. 이와 같은 현상은 석탄재를 가축분과 혼합하여 사료작물포의 퇴비로 시용함으로써 토양 유기물 함량의 증가 및 B와 Mg의 함량 증가로 유효인산 함량의 증가 및 토양 pH의 상승효과 및 미량광물질의 증가효과 등이 복합적으로 나타나는 결과로서 사료작물포의 퇴비공급원로서는 석탄재가 매우 효과적이라는 것을 입증하는 결과라고 사료된다.

[표 14]

시용퇴비에 따른 알팔파 수확량 비교

| 구 분 | 생초수량 (kg) | 건물수량 (kg) | 10a당 생초수량 (kg) | 10a당 건물수량 (kg) | 초장 (cm) |
|---------|--------------|--------------|----------------------|----------------------|------------|
| 비교실시예 1 | 5.05 | 0.852 | 1,514 | 225.5 | 62.7 |
| 비교실시예 2 | 5.68 | 0.965 | 1,703 | 289.5 | 70.1 |
| 비교실시예 3 | 4.61 | 0.799 | 1,382 | 239.8 | 56.4 |
| 비교실시예 4 | 5.47 | 0.962 | 1,642 | 288.5 | 73.0 |
| 실시예 1 | 5.27 | 0.795 | 1,581 | 238.5 | 65.3 |
| 실시예 2 | 6.27 | 1.000 | 1,881 | 300.0 | 73.0 |
| 실시예 3 | 7.70 | 1.209 | 2,310 | 362.8 | 73.9 |

표 15는 옥수수의 10a당 영양생산량을 조사 비교한 것이다. 옥수수의 조단백질 생산량을 보면 비교실시예 1은 57.12kg이지만 석탄재를 혼합한 축분퇴비구는 비교실시예 1보다 약 6~17%가 더 높았으며, 조지방, 조섬유 및 조회분 생산량은 일정한 경향이 없었으나 석탄재를 혼합한 퇴비를 시용한 구의 영양생산량이 차이를 보이지 않는다는 사실은 석탄재 활용에 대한 긍정적인 결과를 나타내는 것이다.

옥수수에 대한 10a당 가용무질소물 즉, 탄수화물 생산량은 톱밥계분퇴비를 시용한 구가 542.6kg으로서 비교실시예 1의 456.2kg에 비해 약 16%가 더 높았으며, 석탄재를 혼합한 축분퇴비를 시용한 구들의 가용무질소물 생산량이 대체로 우수한 경향을 나타내어 석탄재를 가축분뇨처리 부자재로 활용할 경우 퇴비의 옥수수에 대한 효능 또한 우수하다고 할 수 있을 것이다. 특히, 석탄재를 혼용하여 퇴비를 시용한 경우 옥수수의 조단백질 이용율이 아주 높은 것으로 나타났다.

[표 15]

시용퇴비에 따른 옥수수의 10a당 영양생산량 비교

| 구 분 | 조단백질 (kg) | 조지방 (kg) | 조섬유 (kg) | 조회분 (kg) | 가용무질소물 (kg) |
|---------|--------------|-------------|-------------|-------------|----------------|
| 비교실시예 1 | 57.12 | 20.95 | 152.79 | 39.21 | 456.22 |
| 비교실시예 2 | 49.37 | 26.52 | 178.74 | 55.80 | 450.07 |
| 비교실시예 3 | 59.36 | 34.13 | 179.39 | 51.76 | 500.76 |
| 비교실시예 4 | 67.25 | 32.20 | 195.41 | 56.25 | 542.59 |
| 실시예 1 | 68.42 | 28.87 | 175.19 | 49.20 | 500.52 |
| 실시예 2 | 60.80 | 19.42 | 172.82 | 53.56 | 503.14 |
| 실시예 3 | 65.32 | 33.91 | 158.58 | 47.70 | 517.86 |

표 16은 호맥의 10a당 영양생산량을 조사 비교한 것이다. 호맥의 조단백질 생산량은 석탄재 계분퇴비가 60.7kg으로서 비교실시예 1의 43.3kg에 비해 약 29%가 더 높아 가장 우수한 것으로 나타났으며, 석탄재를 혼합하지 않은 계분퇴비구(57.7kg) 또한 우수하게 나타나 호맥에 대한 퇴비로는 계분과 석탄재는 효과적임을 알 수 있고 석탄재 혼합은 상승효과가 있는 것을 알 수 있다. 한편, 조지방, 조섬유, 조회분 및 가

용무질소물 생산량은 축분의 종류나 석탄재 혼합여부에 따른 일정한 경향을 나타내지 않았다. 그러나 호맥에 대해서도 석탄재를 혼합한 축분퇴비는 비료가치가 떨어지거나 부정적인 요인이 드러나지 않았다.

[표 16]

사용퇴비에 따른 호맥의 10a 당 영양생산량 비교

| 구 분 | 조단백질 (kg) | 조지방 (kg) | 조섬유 (kg) | 조회분 (kg) | 가용무질소물 (kg) |
|---------|--------------|-------------|-------------|-------------|----------------|
| 비교실시예 1 | 43.32 | 10.15 | 66.45 | 30.28 | 81.99 |
| 비교실시예 2 | 43.18 | 11.93 | 69.28 | 33.61 | 85.40 |
| 비교실시예 3 | 49.17 | 12.62 | 83.13 | 39.63 | 95.24 |
| 비교실시예 4 | 57.70 | 13.55 | 95.55 | 38.99 | 113.70 |
| 실시예 1 | 56.06 | 13.80 | 83.54 | 45.42 | 94.09 |
| 실시예 2 | 52.29 | 12.60 | 83.92 | 41.65 | 100.02 |
| 실시예 3 | 60.72 | 14.37 | 83.70 | 39.82 | 87.59 |

표 17은 알팔파의 10a 당 영양생산량을 조사 비교한 것이다. 알팔파의 조단백질 생산량은 비교실시예 1의 47.58kg에 비하여 톱밥계분퇴비를 사용한 구가 71.26kg으로서 약 33%가 더 높았으며, 석탄재 혼합 여부에 따른 차이는 없었다. 조지방, 조섬유 및 조회분 생산량도 조단백질 생산량과 같은 경향으로서 축분의 종류나 석탄재 혼합 여부에 따른 차이는 없었으나 비교실시예 1에 비하여 약 34~49%가 더 높게 나타났다. 또한 가용무질소물 생산량 역시 톱밥계분시용구가 119.12kg으로서 퇴비시용구인 비교실시예의 78.87kg에 비해 약 34%가 높게 나타났으며, 다른 영양생산량과 마찬가지로 축분의 종류나 석탄재 혼합 여부에 따른 뚜렷한 변화는 없었다. 따라서 알팔파의 영양생산량으로 본 석탄재의 가축분뇨처리 부자재로서의 가치 또한 우수한 것으로 결론지을 수 있으며, 특히 알팔파의 건물수량에서와 같이 옥수수나 호맥에 대한 효과보다는 알팔파에 석탄재를 혼합한 축분퇴비는 비료가치면에서 우수하며 화분과 작물에 대한 효과보다는 두과작물에 대한 석탄재의 시용효과가 크게 나타났다. 따라서 우리나라와 같은 산성토양이 대부분인 사료작물포를 개량할 경우에는 퇴비로서 석탄재를 가축분과 혼합하여 사용하는 것이 토양개량 뿐만 아니라 특히, 조사료가 부족한 우리나라의 경우 석탄재의 퇴비시용시 그 증수효과가 크기 때문에 석탄재를 퇴비로 사용하는 것은 사료작물의 양적, 질적인 면과 경제적인 면에서도 우수하다고 기대된다.

[표 17]

사용퇴비에 따른 알팔파의 10a 당 영양생산량 비교

| 구 분 | 조단백질 (kg) | 조지방 (kg) | 조섬유 (kg) | 조회분 (kg) | 가용무질소물 (kg) |
|---------|--------------|-------------|-------------|-------------|----------------|
| 비교실시예 1 | 47.58 | 4.35 | 71.20 | 23.56 | 78.87 |
| 비교실시예 2 | 57.12 | 6.98 | 88.83 | 37.74 | 98.83 |
| 비교실시예 3 | 53.06 | 6.94 | 93.04 | 39.54 | 107.43 |
| 비교실시예 4 | 71.26 | 6.58 | 119.72 | 46.11 | 119.12 |
| 실시예 1 | 47.63 | 6.90 | 67.37 | 35.35 | 81.25 |
| 실시예 2 | 45.31 | 6.62 | 74.48 | 35.14 | 78.25 |
| 실시예 3 | 53.52 | 6.71 | 91.80 | 33.67 | 102.79 |

석탄재는 이를 지름 10~30 mm 크기의 구형으로 성형가공하고 이를 톱밥과 1 : 0.8~1.2의 비율로 혼합하여 축사 바닥 깔짚으로써 이용할 수 있다. 이로써, 축사에서 발생하는 분뇨를 효율적으로 처리하고 악취를 줄일 수 있다.

석탄재를 축사에 직접 적용하기 위해서는 다루기가 편리한 형태로 석탄재를 가공, 성형하여야 하는데 석탄재만으로는 응집력이 없어 성형이 불가능하기 때문에 성형을 위한 결합재로써 황토, 지오라이트, 석회석 또는 석고 중 하나를 이용하였다.

황토를 결합재로 이용하여 석탄재를 구형 입자로 성형하는 방법은 다음과 같다. 황토를 잘 건조시키고 1mm 채로 쳐서 미립자만을 취하여 이것을 석탄재에 15% 정도 첨가하여 고르게 섞이도록 한다. 배합된 분말(석탄재+황토) 2~3kg을 취하여 원통형의 성형기에 넣고 적당한 양의 물을 분사하면서 성형기를 회전시킨다. 성형기가 회전하면서 원심력에 의해 물입자를 중심으로 분말들이 뭉치게 되어 구형입자를 형성한다. 입자가 형성되기 시작하면 물의 분사를 줄이고 입자가 적당한 크기에 이르면 분사를 중단한다. 석탄재 입자의 크기는 건조 배합된 분말(석탄재+황토)을 첨가하거나 물의 분사를 반복하여 입자의 크기를 조절한다. 입자의 성형이 완료되면 통풍이 잘 되는 그늘진 곳에서 온도를 약 18~25℃ 정도로 유지하면서 1 내지 1.5일 정도 건조시킨 다음 수집하여 사용한다.

표 18은 원료인 석탄재를 결합재 없이 성형하였을 때의 강도를 나타낸 것이다. 석탄재를 성형하는 방법이 원심력을 이용한 구형입자를 만드는 방식이기 때문에 입자가 클수록 파쇄강도가 높아짐을 알 수 있다. 즉, 입자크기가 10 mm일 경우에는 파쇄강도가 1.31이었으나 입자크기가 30 mm일 경우에는 파쇄강도가 5.71로 높게 나타났다. 그러나 60℃ 이상의 건조온도에서는 온도상승에 영향하여 균열이 생기고 강도가 매우 낮아 이용목적에 불합리하였다. 이러한 결과는 석탄재를 성형가공한 후 고온에서보다 실온에서 건조시키는 것이 유리하다는 것을 입증하고 있다.

[표 18]

성형 석탄재의 건조온도에 따른 파쇄강도

| 입자크기 (mm) | 건조온도(℃) | | | |
|--------------|---------|--|-----|-----|
| | 실온 | 60 | 100 | 200 |
| 10 | 1.31 | 60℃ 이상의 건조온도에서는 균열이 생겨 결합재 없이 성형이 불가능함 | | |
| 20 | 3.63 | | | |
| 30 | 5.71 | | | |
| 평균 | 3.54 | | | |

표 19, 20, 21, 22는 결합재로서 황토, 지오라이트, 석회석 및 석고를 혼합한 성형석탄재의 파쇄강도를 측정한 결과이다. 황토를 10%와 15% 혼합시 입자크기가 증가될수록 파쇄강도는 강하게 나타났으며 특히, 30 mm로 성형가공한 석탄재를 실온에서 건조시킬 경우 파쇄강도는 각각 5.33과 6.12로서 건조온도가 실온 이상으로 높을 경우보다 파쇄강도가 강하게 나타났다. 황토의 혼합비율이 증가될 경우 파쇄강도는 증가되나, 황토혼합 비율이 15% 이상에서는 경제적인 측면에서 불리하다.

[표 19]

황토 혼합 성형 석탄재의 파쇄강도

| 혼합비율, 건조온도 (℃) | | 입자크기(mm) | | |
|-------------------|-----|----------|------|------|
| | | 10 | 20 | 30 |
| 10% | 실온 | 2.63 | 4.36 | 5.33 |
| | 60 | 2.09 | 2.65 | 3.80 |
| | 100 | 1.29 | 1.66 | 3.62 |
| | 200 | 0.99 | 1.53 | 4.28 |
| 15% | 실온 | 2.47 | 4.44 | 6.12 |
| | 60 | 1.76 | 2.99 | 5.19 |
| | 100 | 1.63 | 2.27 | 5.00 |
| | 200 | 1.18 | 2.16 | 4.27 |

지오라이트 역시 황토와 마찬가지로 입자크기가 증가될수록 파쇄강도는 강하게 나타났으며 특히, 입자크기를 30mm로 하여 성형가공한 석탄재를 실온에서 건조시킬 경우 파쇄강도는 각각 9.16과 6.63으로서 건조온도가 실온 이상으로 높을 경우보다 파쇄강도가 강하게 나타났다. 또한 지오라이트로 혼합성형할 경우가 황토로 성형할 때보다 파쇄강도가 강하였으며 특히, 10% 혼합 할 경우에는 파쇄강도가 9.16 으로서 황토보다도 약 42%의 강도가 증가되었다.

[표 20]

지오라이트 혼합 성형 석탄재의 파쇄강도

| 혼합비율, 건조온도 (℃) | | 입자크기(mm) | | |
|-------------------|-----|----------|------|------|
| | | 10 | 20 | 30 |
| 10 % | 실온 | 2.45 | 5.34 | 9.16 |
| | 60 | 2.22 | 2.49 | 4.10 |
| | 100 | 0.72 | 1.52 | 3.14 |
| | 200 | 0.69 | 1.23 | 2.30 |
| 15 % | 실온 | 2.62 | 3.85 | 6.63 |
| | 60 | 1.96 | 2.18 | 5.21 |
| | 100 | 0.76 | 1.65 | 4.01 |
| | 200 | 0.67 | 1.32 | 2.36 |

석회석을 5%, 10% 및 15% 혼합시 입자크기가 증가될수록 파쇄강도는 강하게 나타났으며 특히, 입자크기를 30 mm로 하여 성형가공한 석탄회의 경우 실온과 60℃에서 파쇄강도는 각각 30.5와 56.4, 49와 44.7 및 51.3과 53.5로서 건조온도를 60℃까지 높일 경우 파쇄강도는 강하게 나타났다.

[표 21]

석회석 혼합 성형 석탄재의 파쇄강도

| 혼합비율, 건조온도 (°C) | | 입자크기(mm) | | |
|--------------------|-----|----------|------|------|
| | | 10 | 20 | 30 |
| 5 % | 실온 | 5.54 | 10.8 | 30.5 |
| | 60 | 15.9 | 29.8 | 56.4 |
| | 100 | 3.97 | 4.35 | 11.1 |
| | 200 | 2.45 | 3.40 | 5.10 |
| 10 % | 실온 | 7.57 | 10.8 | 49.0 |
| | 60 | 10.2 | 35.5 | 44.7 |
| | 100 | 2.82 | 4.43 | 9.45 |
| | 200 | 1.48 | 3.30 | 3.69 |
| 15 % | 실온 | 5.14 | 17.6 | 51.3 |
| | 60 | 8.16 | 31.3 | 53.5 |
| | 100 | 6.84 | 12.5 | 15.1 |
| | 200 | 1.80 | 3.52 | 4.70 |

석고 역시 지오라이트와 마찬가지로 입자크기가 증가될수록 파쇄강도는 강하게 나타났으며, 건조온도를 60°C 까지 높일 경우 파쇄강도가 증가되었다. 특히, 석고를 15% 혼합하고 입자크기를 30 mm로 성형가공할 경우 황토, 지오라이트 및 석회석으로 성형 할 때보다 파쇄강도가 강하였다.

[표 22]

석고 혼합 성형 석탄재의 파쇄강도

| 혼합비율, 건조온도 (°C) | | 입자크기(mm) | | |
|--------------------|-----|----------|------|------|
| | | 10 | 20 | 30 |
| 5 % | 실온 | 2.03 | 4.63 | 6.64 |
| | 60 | 4.03 | 6.66 | 12.0 |
| | 100 | 1.55 | 2.60 | 6.11 |
| | 200 | 1.51 | 2.53 | 3.05 |
| 10 % | 실온 | 6.14 | 12.9 | 42.9 |
| | 60 | 11.9 | 14.2 | 49.1 |
| | 100 | 2.60 | 5.37 | 7.27 |
| | 200 | 3.14 | 5.62 | 7.74 |
| 15 % | 실온 | 4.85 | 12.3 | 41.4 |
| | 60 | 6.04 | 35.0 | 60.0 |
| | 100 | 4.96 | 5.28 | 7.61 |
| | 200 | 6.91 | 11.9 | 25.4 |

성형 석탄재의 비용, 수분흡수능력, 미량광물질 공급능력 및 취급의 편리성을 감안할 경우 황토를 결합재로 이용하고, 입자크기는 30 mm, 혼합비율은 15%로 성형가공한 석탄재를 실온에서 건조시키는 것이 바람직하다.

상술한 구체에는 석탄재에 결합재를 첨가하여 구형의 입자로 성형한 후 톱밥과 혼합하여 사용하도록 되어 있으나, 석탄재를 구형으로 성형하지 않고 단순히 톱밥과 혼합하여 사용할 수도 있다.

본 발명의 석탄재를 이용한 축사 바닥 깔짚의 성능을 확인하기 위하여 톱밥발효돈사에 톱밥만을 이용한 비교실시에 5와 톱밥의 절반을 황토를 15% 혼합하여 입자크기 30mm로 성형한 석탄재로 대체한 실시예 4의 톱밥절감 효과, 수분조절, 악취저감 효과, 이용기간 연장 및 경비절감 효과를 분석하였다.

실시장소는 경남 고성군 개천면 소재 2,000두 규모의 양돈농가(한성농장)에서 실시하였으며, 수분함량은 5일 간격으로 오전 10시에 샘플을 채취, 비닐백에 밀봉하여 수분을 측정하였고, Gas 발생량은 NH_3 , CH_4 , H_2S 를 Triple Plus Charging Unit 를 이용하여 돈사 바닥에서 10 cm 높이를 두고 임의로 6곳을 선정하여 측정하였다. 온도는 돈사내 온도 및 외기온도를 온도계를 이용하여 임의로 6곳을 선정 후 측정하였다. 경제성비교는 제경비를 비교하였다. 돈방의 면적은 5×6.5 m로서 운동장은 전체 돈방면적의 60%를 차지하고 있다. 각 구당 13두씩 배치하여 여름과 가을에 걸쳐 2회 실시하였으며 사료급여 체계 및 기타 사양 관리는 농장의 일반관리에 준하였다.

돈사 바닥과 돼지 피모의 청결도는 5일까지는 별 차이가 없으며, 10일 후에는 비교실시에 5의 경우가 실시예 4의 경우보다 약간 불량한 상태였다. 15일 경과후에는 비교실시에 5는 톱밥발효상이 완전 곤죽 상태가 되어 돼지의 뒷다리 며느리 발톱 부분까지 빠져 거동이 불편하였으며 뇨 배설 장소 이외의 다른 부분에서도 톱밥발효상의 곤죽상태가 많이 진행되어 깔짚을 교체해야만 될 상태였다. 특히, 톱밥 발효상의 곤죽상태로 돼지의 피모는 배 부분까지 매우 불량하였다. 그러나 톱밥에 성형 석탄재를 50% 혼합하여 투입한 구에서는 뇨 배설 장소에서만 깔짚 투입 10일째와 비슷한 응결 상태를 유지하고 있었으며, 다른 부분은 매우 양호한 편이었다.

실시에 4에서는 30일 후에도 투입 15일째와 모든 상황이 비슷하게 나타났으며, 60일째에도 투입 30일째보다는 깔짚이 곤죽상태가 약간 더 진행되었으나 톱밥만을 투입한 비교실시에 5의 깔짚 상태로 미루어 볼 때, 비교실시에 5 깔짚 투입 10~12일째와 비슷한 상태로 간주되었다. 한편, 돼지의 건강상태도 성형 석탄재를 깔짚으로 투입한 30일 후 보다도 개선되고 있었으며 비교실시 결과 ① 깔짚 교체시기 연장, ② 냄새 발생 억제, ③ 호흡기 질병 예방, ④ 설사 방지, ⑤ 소화율 증가, ⑥ 성장을 향상, ⑦ 구더기 발생 억제, ⑧ 노동력 절감 등의 많은 효과가 있는 것으로 확인되었다.

성형 석탄재를 투입한 90일 후에도 톱밥만을 투입한 15일째 보다는 양호하였으며, 이 같은 결과는 성형 석탄재가 돼지의 뇨를 흡수한 후 건조시키는 속도가 빠르기 때문이라고 사료된다.

성형 석탄재에는 Al_2O_3 (60%)와 SiO_2 (21%)가 80% 이상을 차지하고 있으며, 그외에도 Fe_2O_3 (6%), P_2O_5 (4%), CaO (1%), MgO (0.3%), Mn (640 ppm) 및 Zn (340 ppm) 등 필수 무기물이 다량 함유되어 있기 때문에 ATP의 고에너지를 전달하는데 관여하는 효소를 활성화 시켜 뼈의 정상적인 성장을 돕고 사료섭취량을 증가시키며 성장율을 향상시키고, Al , SiO_2 , Fe 와 B 는 성장 촉진, 설사 예방, 피모의 광택 및 스트레스를 예방해 주는 효과가 있다. 특히, CaO 와 SiO_2 는 토양개량제로 이용되기도 하지만 새 축사에 가축을 입식시킬 때 축사 소독 및 구충의 효과가 있다.

표 23은 비교실시에 5 및 실시예 4의 축사 바닥 깔짚의 수분함량, 온도변화 및 gas 발생량의 변화를 조사한 결과이다.

수분함량은 깔짚 투입 당시에 비교실시에 5는 24.3%로서 톱밥 자체의 수분 함량을 나타내고 있으며, 실시예 4의 경우 수분함량이 17.1%로 적었다. 깔짚 투입 5일 후에는 비교실시에 5(35.0%)에 비하여 실시예 4가(23.0%) 낮게 나타났다. 이러한 경향은 깔짚 투입 15일까지 계속 되었으며, 비교실시에 5는 수분함량이 54.5%로서 거의 곤죽상태를 유지하여 깔짚으로서의 효과가 거의 나타나지 않았다. 그러나 실시예 4에서는 수분함량이 35.2%로서 깔짚으로서의 역할이 충분히 유지되고 있었다.

돈사 바닥의 온도는 양쪽 모두 외기온 보다 높아 발효가 잘 진행되고 있음을 보여 주고 있으며 특히, 실시예 4가 비교실시에 5보다도 전반적으로 높게 나타나 깔짚의 발효가 잘 진행되고 있음을 보여주고 있다.

NH_3 는 자극성이 매우 강하기 때문에 5 ppm 이하의 낮은 수준에서도 느낄 수 있으며, 6~20 ppm의 수준에서는 사람의 눈에 자극을 주고 호흡에 문제가 나타나며, 가축의 경우에는 50 ppm일 때 생산능력이 감소되며 건강에 큰 피해를 유발시키는 동시에 계속적으로 노출될 경우 폐렴의 가능성이 증가된다 (Barker, 1993). 또한, Barker(1993)는 돈분이 분해될 때 H_2S 가 다량 발생되며, 유독성이 매우 강하기 때문에 6 ppm 이상에서는 유독가스의 냄새가 심하며, 10 ppm 이상에서는 눈에 자극을 주고, 20~50 ppm에서는 눈, 코 및 목구멍에 통증을 느낄 정도의 심한 자극을 준다고 하였다. 그리고 가축의 경우에는 20 ppm의 H_2S 가스 발생시 약한 공포를 느끼며 식욕감소 및 신경과민 현상이 일어난다고 하였다.

본 실험에서는 비교실시에 5에서 깔짚 투입 15일 후에 NH_3 는 약 11 ppm, H_2S 는 약 1 ppm으로서 가축의 호흡기 질병에 대한 우려가 나타나고 있다. 그러나 실시예 4의 경우에는 깔짚 투입 10~15일에 NH_3 는 약 7~8 ppm, H_2S 는 깔짚 투입 20일 후에 약 1 ppm의 가스가 발생됨으로서 NH_3 가스 냄새는 약간 느낄 수 있을 정도이나 석탄재로 인하여 냄새를 많이 제거할 수 있었다.

[표 23]

돈사에 성형 석탄재를 깔짚으로 이용함에 따른 변화

| 구 분 | | 0 일 | 5 일 | 10 일 | 15 일 | 20 일 | 25 일 | |
|---------------------------|-------------|------------------|------|------|------|-----------------|------|----|
| 수분 함량 (%) | 비교실시예 5 | 24.3 | 35.0 | 47.1 | 54.5 | ns ² | ns | |
| | 실시예 4 | 17.1 | 23.0 | 33.0 | 35.2 | 37.0 | 37.6 | |
| 온 도 (℃) | 비교실시예 5 | 28.3 | 33.5 | 32.4 | 32.4 | ns | ns | |
| | 실시예 4 | 28.3 | 34.7 | 32.8 | 32.6 | 28.2 | 28.1 | |
| 외기 온도 (℃) | | 28.2 | 28.5 | 28.0 | 26.0 | 25.0 | 25.0 | |
| Gas ¹ (ppm) | 비교 실시예 5 | NH ₃ | 3 | 11 | 10 | 11 | ns | ns |
| | | H ₂ S | ns | ns | 1 | 1 | ns | ns |
| | 실시예 4 | NH ₃ | 3 | 8 | 7 | 5 | 5 | 7 |
| | | H ₂ S | ns | ns | ns | ns | 1 | 1 |

¹⁾ CH₄와 CO gas는 측정되지 않았음. ²⁾ ns : 미량으로서 측정되지 않았음

이와 같은 결과에서 돈사에 톱밥을 깔짚으로 투입하고 있는 우리나라의 경우에는 톱밥 단독의 발효돈사를 이용하는 것보다는 톱밥에 성형석탄재를 건물 기준으로 50% 혼합하여 이용할 경우 유독가스의 발생량이 적어 돼지의 생산성 향상 뿐만 아니라 호흡기 질병 예방에도 상당한 효과가 있을 것으로 사료된다.

[발명의 효과]

본 발명의 석탄재를 이용한 축분퇴비 및 축사 바닥 깔짚을 이용함으로써, 환경폐기물로써 버려지고 있는 석탄재를 자원으로 재활용하는 것이 가능하고, 화력 발전소 인근의 바다오염을 감소시킬 수 있으며, 석탄재가 혼합된 발효퇴비는 양질의 유기질 비료로서 pH의 상승 및 무기물질에 의한 토양개량과 작물의 생산성을 높일 수 있다.

또한, 톱밥의 절반을 축사의 깔짚 대체재로서 석탄재를 이용할 경우 깔짚 교체기간을 4~5배 연장할 수 있어 대체비용과 대체에 필요한 노동력을 절감시킬 수 있으며, 가축의 설사 방지 및 돈사내 가스 발생 억제에 호흡기 질병 예방효과가 높으며, 구더기 발생 및 기생충 발생을 억제할 수 있다.

또한 톱밥 비용을 절감하여 축산농가의 소득증대에 기여함을 물론 국내 축산업의 경쟁력 향상에도 일조할 것이다.

(57) 청구의 범위

청구항 1

톱밥; 및, 석탄재; 로 구성되는 것을 특징으로 하는 석탄재를 이용한 축사 바닥 깔짚.

청구항 2

제1항에서, 상기 석탄재는 상기 석탄재에 결합재를 더 첨가하여 사용하거나, 결합재를 첨가하고 구형으로 성형, 가공하여 사용하는 것을 특징으로 하는 석탄재를 이용한 축사 바닥 깔짚.

청구항 3

제1항에서, 상기 톱밥과 상기 석탄재는 1 : 0.8 내지 1.2의 비율로 혼합되는 것을 특징으로 하는 석탄재를 이용한 축사 바닥 깔짚.

청구항 4

제2항에서, 상기 결합재는 황토, 지오라이트, 석회석 또는 석고 중의 하나인 것을 특징으로 하는 석탄재를 이용한 축사 바닥 깔짚.

청구항 5

제2항에서, 상기 석탄재는 10 내지 30mm의 구형 입자로 성형, 가공되는 것을 특징으로 하는 석탄재를 이용한 축사 바닥 깔짚.

청구항 6

제2항에서, 상기 결합재는 상기 석탄재의 15% 첨가되는 것을 특징으로 하는 석탄재를 이용한 축사 바닥 깔짚.

청구항 7

결합재를 건조시켜 체로 걸러내고; 상기 결합재를 석탄재와 혼합하고; 혼합된 상기 결합재와 석탄재를 성형기에 넣고 물을 분사하면서 성형기를 회전시켜 상기 석탄재를 구형의 입자로 성형하고; 상기 성형된 석탄재를 건조시키고; 그리고, 상기 성형된 석탄재와 톱밥을 일정 비율 혼합하는 단계; 로 구성되는 것을 특징으로 하는 석탄재를 이용한 축사 바닥 깔짚의 제조 방법.