

GOVP1199904333

최종  
결과보고서

## 석탄회의 축산분뇨처리 부자재 대체 이용에 관한 연구

Development of a Subsidiary Materials for Animal Waste

Treatment using Fly ash

경상대학교 농과대학 축산학부

농 립 부

## 최종보고서

1995년도 농림기술개발사업에 의하여 완료한 석탄회의 축산분뇨 처리 부자재 대체 이용에 관한 연구의 최종보고서를 별첨과 같이 제출합니다.

- 첨 부 : 1. 최종보고서 8부  
2. 최종보고서 디스켓 1매

1998. 12. 29.

주관 연구 기관 : 경상대학교 농과대학

총괄연구책임자 : 고 영 두

주관연구기관장 : 경상대학교 총장 직인

농 립 부 장 관 귀 하

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “석탄회의 축산분뇨 처리 부자재 대체 이용에 관한 연구” 과제의  
최종보고서로서 제출합니다.

1998. 12. 29.

주관 연구 기관명	:	경상대학교 농과대학
총괄 연구 책임자	:	고영두
연구 구 원	:	김두환
연구 구 원	:	김재황
연구 구 원	:	곽석준
연구 구 원	:	정희식
연구 구 원	:	고병구
연구 구 원	:	황기영
연구 구 원	:	이수철
연구 구 원	:	이종찬
연구 구 원	:	김삼철
연구 구 원	:	정형준
연구 구 원	:	유성오
연구 구 원	:	강경록
연구 구 원	:	장영식
연구 구 원	:	이춘희
연구 구 원	:	박용석
연구 구 원	:	최임수
연구 구 원	:	구성기
연구 구 원	:	김민규
연구 구 원	:	최문호
연구 구 원	:	장지성
연구 구 원	:	고지영

# 요 약 문

## I. 제목

석탄회의 축산분뇨 처리 부자재 대체 이용에 관한 연구

## II. 연구개발의 목적 및 중요성

축산업의 승패는 축종별 국제경쟁력 향상, 축산물의 유통 및 판매가격 안정을 통한 생산비 절감 등이 중요한 사안이지만 가축의 배설물을 어떻게 효과적으로 잘 처리하는가에 달려 있다고 볼 수 있다. 이렇게 하기 위해서는 함수율이 높은 분뇨의 수분조절이 선행되어야 하며, 톱밥같은 수분조절제가 필요하다. 그러나 우리나라의 경우 톱밥의 공급에는 한계가 있고, 퇴비화에 장시간이 소요되며, 시비에 많은 노력을 필요로 하는 여러가지 문제점들이 있으며 특히, 공급량이 크게 부족되어 가격이 앙등하고 있다( '91년: 2~3만원/톤 → '94년: 5만원/톤 → '96년: 10만원/톤 → '98년: 11만원/톤).

이러한 점들을 개선하고 대체하기 위한 방안으로서 화력발전소에서 폐기되고 있는 석탄회를 톱밥 대체품목으로 개발하여 축산농가에 공급함으로써 산업폐기물의 재활용은 물론이거니와 양축농가의 입장에서 볼 때 재정적 부담 절감, 환경오염 감소 등 축산농가의 애로사항을 해결할 수 있다 (석탄회 발생량: '97년: 320만톤 → '98년: 381만톤 → 2000년: 442만톤 추정, 재활용 실적 : 13% 수준).

따라서 본 연구는 환경오염에 대한 가축분뇨 처리문제의 해결 방안으로 제시하기 위하여 석탄회를 가축분뇨처리 수분조절제로 이용함으로써 ① 톱밥 대체물질 개발, ② 가축분뇨의 재활용 및 효율적인 처리, ③ 환경친화적 축산경영 및 ④ 석탄회의 농업적 이용가치를 구명하여 가축분뇨 처리를 보다 쉽게 해결하고 농가의 경제적 부담경감과 축산환경 오염을 방지시킬 수 있는 계기를 마련하기 위하여 본 연구를 수행하게 되었다.

### III. 연구개발 내용 및 범위

#### 1. 연구개발의 내용

현재 사용되고 있는 수분조절재인 톱밥의 일부를 석탄회로 대체, 이용하기 위하여 가축 분뇨, 석탄회 및 톱밥을 7개 처리구로 나누어 적정 혼합비율을 결정하고 성분 분석을 하였으며, 축분-석탄회 퇴비의 사료작물의 생산성과 토양성상에 대한 효과를 분석하기 위하여 옥수수, 호맥 및 알팔파를 공시하여 퇴비효과를 구명하였으며, 30 mm로 성형가공한 석탄회의 축사바닥 깔짚의 대체효과와 악취저감 효과를 구명하였다.

#### 2. 연구개발의 범위 및 조사항목

본 연구는 3년간('96~'98년)의 연구로서 1년차는 석탄회의 이용가치 개발과 적정 혼합비율을 결정하고 2년차에는 퇴비화 기술확립과 작물시험 시용효과를 3차년에는 축산농가에 대한 현장 적용시험을 실시하여 깔짚의 교체기간과 악취발생 억제효과를 구명하고자 하였다.

- 1년차 : 가축분뇨와 석탄회의 적정 혼합 비율, 온도, 산도(pH), 수분, 유기물, 총질소, C/N 비, 석탄회 성형기 제작
- 2차년 : 양돈, 양계 및 낙농농가의 석탄회 혼합 퇴비화 처리 및 발효조건 확립, 석탄회 혼합 축분퇴비의 사료작물 생산성과 시험포장 토양 성상
- 3차년 : 석탄회의 성형 및 강도 평가, 한우사 및 돈사에 대한 깔짚의 교체시기 및 악취 억제효과

### IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

#### 1. 연구개발결과

1996~1998년까지 3년간의 시험결과를 요약하면 다음과 같다.

- 가. 석탄회의 이용가치 개발과 적정 혼합비율을 결정(1차년)
  - 톱밥의 혼합비율이 높을수록 최고온도 도달일령이 짧아지고 발효에도 유리하였다.

- 톱밥과 석탄회를 동일비율로 혼합시 수분함량이 30~45%로서 발효에 유리하였다.
- 석탄회를 혼합하므로써 pH가 7~10으로 유지되었다.
- 톱밥의 혼합비율이 증가될수록 질소함량은 증가되었다.
- 톱밥과 석탄회를 동일비율로 혼합시 발효과정 중 C/N비(40 이상)의 변화가 없었다.

#### 나. 퇴비화 기술확립과 작물시험 시용효과(2차년)

- 석탄회를 사용한 시험포장의 유기물과 인산, K, Ca, Mg, Mn 및 B 함량은 증가하였다.
- 석탄회를 사용한 포장에서 작물 수확 후의 포장 pH는 7의 수준으로 유지되었으며, 유기물과 인산, K, Ca, Mg, Mn 및 B 함량은 증가하였다.
- 석탄회를 사용하므로써 옥수수의 건물량은 10~13%, 호맥은 14~21%, 알팔파는 석탄회를 계분과 혼합하므로써 약 35% 증수되었다.
- 축분퇴비에 석탄회를 혼합하므로써 10a당 옥수수의 조단백질 함량은 6~17%, 호맥은 약 29%, 알팔파는 계분을 혼합하므로써 약 33%가 높았다.

#### 다. 축산농가에 대한 현장 적용시험(3차년)

- 성형석탄회 가공시 입자크기를 30 mm, 황토를 15% 혼합하는 것이 비용, 파쇄강도 및 수분흡수능력에서 우수하였다.
- 한우사에 대한 깔짚으로 성형석탄회의 투입효과는 없었으나 NH<sub>3</sub> 및 H<sub>2</sub>S gas는 감소되었다.
- 돈사에 대한 깔짚으로 성형석탄회의 투입효과는 대조구에 비하여 4~5배 증가되었으며, NH<sub>3</sub> 및 H<sub>2</sub>S gas도 감소되었다.
- 톱밥돈사의 경우 구더기 및 기생충 발생이 많았으나 석탄회 처리로 인하여 이들의 발생이 억제되었다.

## 2. 활용에 대한 건의

3년간에 걸쳐 석탄회를 가축분뇨처리 수분조절제로 이용하여 톱밥 대체물질 개발, 가축분뇨의 재활용 및 효율적인 처리, 환경친화적 축산경영 및 석탄회의 농업적 이용가치를 구명한 결과 석탄회를 톱밥의 50%(건물기준) 대체시 토양개량, 사료작물의 생산성, 깔짚 교체

시기 연장효과 이외에도 축사내 gas 발생억제 및 구더기 발생 억제효과 등의 많은 결과를 얻었으나 축사내 깔짚으로 편리하게 활용할 수 있기 위하여 다음과 같이 건의한다.

- (1) 석탄회는 미세분말 입자이므로 다량의 분진발생으로 취급에 어려움이 있으므로 분진억제를 위한 벌크차량과 타이콘 백의 안정적 지원이 필요하다.
- (2) 석탄회의 이용을 쉽게하기 위하여 화력발전소내에 석탄회 퇴적장이 필요하다.
- (3) 취급을 용이하게 하기 위하여 대량 생산을 위한 성형장비가 필요하다.
- (4) 석탄회의 깔짚 대체효과는 매우 우수하므로 축협 및 관련 연구기관을 통한 적극적인 농가홍보가 필요하다.
- (5) 석탄회의 깔짚효과를 체계적으로 구체화 하기 위해서는 계속 연구할 필요가 요망된다.

# Summary

## I . Title

Development of a Subsidiary Material for Animal Waste Treatment using  
Fly ash

## II . Purpose and Importance of Study

For success of livestock industry, it is important to reduce production cost of livestock through stability of marketing and selling price, but livestock manure management is regarded as more important thing. First of all, moisture of livestock manure, that is contained high moisture, have to be control and need such sawdust as amendment. But there are a lot of problems to use sawdust as amendment. For example, supply of sawdust is limited in our country and takes along time to make compost. Fertilization is also hard. Especially, owing to short supply sawdust's cost is rising (1991 : 20~30 thousand won/ton → 1994 : 50 thousand won/ton → 1998 : 110 thousand won/ton).

Fly ash, that is produced waster matter at Samchunpo Thermoelectric Power Plant, is studied as a substitute matter of sawdust and supply it to farm, so industry waste matter can be reused and farmers can be reduced cost of management, environmental pollution and so on (Fly ash production; '97: 3.2 million ton → 98: 3.81 million ton → 2000: 4.42 million ton (estimated volume), the amount of reuse: 13%).

Therefore, this study was carried out to ① develop the sawdust substitute matter, ② reuse and efficient management of livestock manure, ③ adaption to circumstances of livestock management, ④ study agricultural utilization of fly ash. Livestock manure management will be easy, the production cost of farm and pollution can be reduced due to this.



### **III. Contents and Extends of study**

#### **1. Contents**

Livestock manure, fly ash and sawdust were divided into 7 treatments, decided the suitable mixture rate and analyzed its components to substitute and use fly ash for a part of sawdust, is using now as an amendment. Corn, rye and alfalfa were sowed a field to analyze the effect of forage crops productivity and the benefit to plants as a nutrient source.

Fly ash, was processed 30 mm diameters, was used as a spread straw to clear up the benefit of substitute and bad smell decrease

#### **2. Extends and Investigated items of study**

This study have done for 3 years ('96~'98). In first year, utility value of fly ash was developed and a suitable mixture ratio of the fly ash and livestock manure was decided.

In second year, it was established the technique of making compost and test it for plants as a nutrient source.

In third year, it was done the field test at farm to clear up the benefit of replacement terms and bad smell decrease.

- First year : Suitable mixture ratio of livestock manure and fly ash, temperature, pH, moisture, organic matter, total N, ratio of C/N, manufacture of fly ash plastic machine.
- Second year : Compost, mixed fly ash and livestock manure, was made and fermetation condition was established at pig farm, poultry farm and dairy farm. When the compost was given at the farm, the productivity of forage crops and compoment of the soil were investigated.
- Third year : Fly ash plastic, its intensity valuation, Replacement terms of spread straw and bad smell decrease at Hanwoo farm and pig farm.

## IV. Results and Suggestion for practical use

### 1. Results

The results for 3 years study (1996-1998) are summarized as follows:

#### 가. Develop to the utility value of fly ash and decide to the suitable mixture ratio (1st year)

- If mixture ratio of sawdust is high, it takes short time to reach on maximum temperature and ferment easily.
- When each 50% of Fly ash and manure was mixed, moisture was 30~50% and fermented easily.
- Maintenance of pH 6~7 was due to mixed fly ash.
- When mixture ratio of sawdust was increasing, the content of N was raising.
- When each 50% of Fly ash and manure was mixed, ratio of C/N was not change in fermentation period.

#### 나. Establishment of making compost technique and effect for plants as a nutrient source (2nd year)

- Content of organic matter, phosphoric acid, K, Ca, Mg, Mn, and B of the soil at the soil, which is given fly ash, increased.
- After the tested crops were harvested at the soil of used fly ash, the soil was maintained pH 7 and contents of organic matter, phosphoric acid, K, Mg, and B was increased.
- Each DM of corn and rye was increased 10~13% and 14~21%, especially alfalfa was increased 35% at the soil which is mixed fly ash and cage layer manure.
- CP of corn and rye was increased 6~17%, about 29%, especially, as fly ash and cage layer manure was mixed CP in alfalfa was increased 33% due to mixing fly ash with manure.

#### 다. The field test at farm (3rd year)

- When fly ash was plastic processed 30 mm diameter with 15% of ocher (yellow earth), the costs, crush intensity and moisture absorptivity was very good.
- Effects of processed fly ash as a spread straw decreased  $\text{NH}_3$  and  $\text{H}_2\text{S}$  gas at Hanwoo farm, but there was no benefit of replacement terms.
- Effect of processed fly ash as a spread straw increased 4~5 times replacement terms more than control.  $\text{NH}_3$  and  $\text{H}_2\text{S}$  gas was decreased.
- A lot of maggots and parasites were grown at sawdust pig farm, but fly ash inhibited to grow maggots and parasites.

## 2. Suggestion for practical use

Through 3 years study, the results that fly ash was used as an amendment and develop the substitute matter of sawdust, reuse and efficient management of livestock manure, adaption to circumstances of livestock management, study agricultural utilization are as follow.

As each 50% of fly ash and livestock manure (DM) were mixed, the benefits of soil improvement, forage crops productivity, replacement term extension of spread straw, gas inhibition, inhibited to grow maggots and parasites, and so on. There are a lot of benefits. But there are a few of suggestion for practical use as follows to use fly ash comfortably.

- (1) Because fly ash is microscopic dust, a lot of dust occur so treatment is difficult bulk car and bag need to inhibit dust
- (2) Accumulation place of fly ash need to use fly ash comfortably at the thermoelectric power plant.
- (3) Big processing machine need to mass production
- (4) Substitution effect of fly ash is very good, so positive publicity need at farm through National Livestock Cooperatives Federation and Related Research Institute.
- (5) Continuous study need to embody systematically the effect of fly ash as a spread straw

# 목 차

<b>제 1 장</b>	<b>서론</b> .....	1
제 1절	연구개발의 목적과 범위 .....	1
제 2절	국내외 기술현황과 환경변화 .....	2
제 3절	연구개발의 내용 및 범위 .....	6
<b>제 2 장</b>	<b>석탄회의 이용가치 개발과 적정 혼합비율 결정</b> .....	8
제 1절	서설 .....	8
제 2절	연구방법 .....	8
제 3절	연구결과 .....	12
<b>제 3 장</b>	<b>축산농가의 퇴비화 기술확립 및 작물시험 시용효과</b> ....	26
제 1절	서설 .....	26
제 2절	연구방법 .....	26
제 3절	연구결과 .....	32
<b>제 4 장</b>	<b>축산농가에 대한 현장 적응시험 효과</b> .....	62
제 1절	서설 .....	62
제 2절	연구방법 .....	62
제 3절	연구결과 .....	64
<b>제 5 장</b>	<b>시험결과 요약</b> .....	92
<b>제 6 장</b>	<b>활용방안</b> .....	93
<b>제 7 장</b>	<b>기대효과</b> .....	94

# Contents

<b>Chapter 1. Introduction</b> .....	1
Section 1. Purpose and extent of study .....	1
Section 2. Domestic and foreign technique and change of environment .....	2
Section 3. Contents and Extends of study .....	6
<b>Chapter 2. Development of utility value of fly ash and decision of a suitable mixture ratio</b> .....	8
Section 1. Introduction .....	8
Section 2. Methods .....	9
Section 3. Results .....	12
<b>Chapter 3. Establishment of making compost technique and effects for plants as a nutrient source</b> .....	26
Section 1. Introduction .....	26
Section 2. Methods .....	26
Section 3. Results .....	32
<b>Chapter 4. The effect of field test at farm</b> .....	62
Section 1. Introduction .....	62
Section 2. Methods .....	62
Section 3. Results .....	64
<b>Chapter 5. Summary</b> .....	92
<b>Chapter 6. The way for practical use</b> .....	93
<b>Chapter 7. The expectation effects</b> .....	94

# 제 1장 서론

## 제 1절 연구개발의 목적과 범위

### 1. 연구개발의 목적

현재 수분조절제로 이용하고 있는 톱밥을 화력발전소에서 산업폐기물로 처리되고 있는 석탄회를 성형가공하거나 원상태로 톱밥과 혼합하여 이용함으로써 가축분뇨로 인한 대기오염과 수질오염 방지, 사료작물의 증수 및 양축농가의 재정적 부담을 경감시키는 등 양축농가의 기술발전의 기초를 확립하고 양축가들이 안정적인 축산업을 영위하기 위해서 필히 연구, 개발하여야 할 과제이며 또한, 화력발전소에서도 매일 적체, 투기되고 있는 석탄회의 처리문제를 해결할 수 있는 한가지 방안으로서도 크게 관심을 가져야 할 부분이기 때문에 석탄회의 재활용과 폐기물 처리로 인한 환경오염 방지 차원에서 본 연구의 목적을 두고자 한다.

### 2. 연구개발의 중요성

축산업의 전업화와 기업화, 다두 밀집사육 및 사육단지화로 인하여 가축분뇨의 발생량이 크게 증가하므로써 하천과 토양 및 대기오염의 주원인으로 지목되기에 이르렀다. 이에 따라 법적규제 강화와 인근 주민들의 축산업에 대한 거부반응 등으로 많은 어려움을 겪고 있는 실정인데, 앞으로 축산업의 승패는 가축의 배설물을 어떻게 효과적으로 잘 관리하느냐에 달려 있다고 해도 과언이 아니다.

최근 환경친화적인 축산을 하기 위하여 사료중 질소와 인의 함량을 감소시키거나 생균제를 이용하거나 축사깔짚으로 톱밥이나 왕겨를 이용하는 방법이 개발되고 있는데 이들 중에서도 축분 이용면에서 톱밥과 같은 깔짚을 사

용하는 방법이 농가에서 가장 선호하는 방법이라 하겠다.

그러나 이와같은 깔짚이 품귀현상을 일으키거나 값이 고가이므로 사용에 크게 불편을 겪고 있는 현시점에서 본 연구의 필요성은 더욱 높게 평가되고 있다.

특히, 축산업의 규모확대에 따른 가축분뇨 대책을 병행하지 못한 것이 축산업계의 현실이며, 지금까지 축산현장에서는 가축분뇨를 발효퇴비화, 정화, 건조 및 화학적 처리 등의 여러 가지 방법을 동원하여 처리하고 있으나 경제성과 효율성 면에서 가장 선호되고 있는 방법이 발효퇴비화이다.

한편, 축산물의 생산성을 높이기 위하여 지금까지는 육종, 번식 및 사양에 있어 첨단기술을 많이 개발하여 왔다. 그러나 지금까지는 축산으로 인한 환경오염방지에 대한 연구가 그렇게 많지 않을 뿐만 아니라 그 역사도 짧아 가장 효과적인 방안이 아직은 제시되고 있지 않으므로 보다 효과적인 해결방안에 대한 연구는 지금의 현실로 보아 그 중요성은 크게 기대되고 있는 부분이다.

## 제 2절 국내외 기술현황과 환경변화

### 1. 국내 기술현황

톱밥을 이용한 가축분뇨 처리 기술의 대표적인 예는 톱밥발효돈사와 톱밥발효우사 및 톱밥을 사용한 발효퇴비화, 톱밥토양여과상 등인데, 근래 양돈경영에서 인건비가 차지하는 비중이 커지게 되어 톱밥발효돈사는 톱밥값이 너무 높고 또한 구입하기가 매우 어려워 대단히 양돈장에서는 경제성이 없는 것으로 인정하고 있으나 톱밥발효우사의 경우는 권 등(1996)의 연구결과에

의하면 착유우에 대하여 경제성과 관리효율 면에서 유리한 것으로 나타났다. 톱밥 토양여과상과 같은 처리기술은 처리가능한 가축사육두수가 제한되고 '오수분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률'이 정한 방류수 수질기준을 충족 시키기가 현실적으로 어렵다.

한편, 톱밥공급의 한계성을 감안한 수분조절재용 부자재의 국내 기술개발 현황을 보면 톱밥을 사용하지 않는 퇴비화 시설의 개발 보급 방안으로 생석회를 이용한 화학반응 방법 (최 등, 1991)과 혐기 소화 후 고액분리하여 압착, 펠리트화하는 공법의 도입검토, 태양열 또는 화력을 이용한 분뇨의 물리적 건조방법 등이 이용되고 있으나, 기술적으로 안정되지 못하고 있으며 경제성 등의 제약요인이 많아 현장 적용이 어렵다.

톱밥 대체 품목으로 왕겨, 분쇄왕겨, 팽연왕겨, 대패밥, 목편 등의 대체 품목 개발을 추진중에 있는데, 강 등 (1995)은 톱밥을 이용한 한우의 분뇨처리에 관한 연구에서 우사 바닥에 깔아주는 톱밥의 적정 두께와 왕겨의 톱밥 대체효과, 재처리 톱밥 우분의 대체효과 및 이들의 경제성을 분석한 결과 톱밥은 5 cm 두께로 깔아서 38일간 이용이 가능하고 왕겨 50%대체가 효율적이고 톱밥우분을 재처리 활용하면 25%의 톱밥 절감 효과가 있다고 하였다.

그러나 석탄회를 가축분뇨 처리용 부자재로 활용하기 위한 기술은 전무한 실정인데, 본 연구개발팀이 앞서 수행한 연구결과에서 톱밥 사용량의 50%를 석탄회로 대체하여 활용함으로써 가축분뇨처리의 효율화와 퇴비화에 효과적이라는 결론을 얻었다.

## 2. 국외 기술현황

석탄회는 토양개량제로 직접 사용되기도 한다. 미국의 경우 pH가 2-5에 이르는 강산성 채탄지에 알칼리성인 석탄회를 사용하여 식생을 회복한 사례가 있고, 기타 폐수처리 슬러지, 인광석, 석회물질, 톱밥 등 유기물질과 혼



용하여 사용하면 농경지의 토양의 물리성 개량에 효과적임이 알려지고 있다.

그러나, 외국에서도 석탄회를 가축분뇨처리 부자재로 이용하고자 하는 시도는 없었으나, 최근 석탄회의 이용에 대하여 1995년 미국 오하이오 주립대학에서 열린 “축산악취에 관한 국제 심포지움” 결과에 의하면 Goodrich 등 (1995)이 미네소타 주립대학에서 수행한 돈사오수의 악취저감 시험결과와 Bundy와 Green (1995)이 오하이오 주립대학에서 수행한 돈분뇨에 혼합하였을 경우 악취저감에 관한 시험 결과 발전소에서 발생된 알카리성 부산물 즉 석탄회가 악취제거에 효과적이라고 밝혀 본 연구개발 사업의 목적하는 바 외에도 악취제거용의 이중효과를 얻을 수 있다는 것을 뒷받침하고 있다.

### 3. 국내 환경변화

'98년 9월 농림부의 가축통계를 보면 한육우는 2,633천두가 사육되고 있으며, 사육가구수는 450천호이며 가구당 마리수는 5.9두로서 3개월 전보다 117천두 (4.3% 감소)가 감소 되었으며 전년 동기보다 247천두 (8.6% 감소)가 감소되었다. 젖소는 552천두를 16.1천 농가에서 사육하고 있으며 가구당 두수는 34.2두로서 3개월 전보다 10천두 (1.8% 감소)가 감소 되었으나 전년 동기보다 1천두 (0.2% 증가)가 증가되었다. 이는 한육우와 젖소는 IMF 사태 후 소값 하락과 소규모 농가의 경영악화 및 원유가격 상승과 축산물 소비감소로 인한 영향으로 사육두수가 감소되었다. 그러나 돼지는 7,788천두가 사육되고 있는데 3개월 전보다 330천두 (4.4% 증가) 증가, 1년전보다 724천두(10.2%)가 증가되었으며 26.6천 농가에서 사육하여 호당 293두로서 ('97년 9월 256두) 호당 사육두수는 14.5% 증가되어 규모확대가 급격하게 이루어지고 있음을 알 수 있다.

특히, 돼지 사육두수의 전반적인 증가추세에 따른 분뇨처리 부담이 가중되고 있으나(표 1 참조) 국내에서 생산되는 톱밥량은 오히려 원목 수입량이

줄어들어 가격이 폭등하고 있는 실정이다.

또한 가축분뇨의 처리에 관한 규제기준이 한층 강화되어 적용되고 있으며 (표 2 참조), 오수 분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률이 '98년 7월 20일 3차 개정을 위하여 입법예고되어 있으며, 정부의 정책방향 또한 자원화 위주로 치우치고 있어 가축분뇨의 자원화 (퇴비화)는 그 중요성이 더 강조되고 있기 때문에 본 연구의 목표가 석탄회를 재활용하여 가축분뇨의 자원화를 위한 부자재 대체 이용에 있기 때문에 의의가 크다고 할 것이다.

<표 1> 가축별 오염물질 배출량

축종	체중 (kg)	1일두당 배설량 (kg/일) A			생화학적산소 요구량(mg/l)B		두당 1일 오염물질 발생량 (BOD mg/두-일)A×B		
		분	뇨	계	분	뇨	분	뇨	계
돼지	60	3	3	6	59,875	4,009	179,625	12,027	191,652
젖소	450	30	10	40	20,821	3,575	624,630	35,750	660,380
한옥우	340	15	5	20	25,476	4,427	382,140	22,135	404,275
닭	1.4	0.1	-	0.1	6,540	-	6,540	-	6,540

<표 2> 가축분뇨 처리에 관한 규제기준

기간	축사규모	지역	BOD(mg/l)	SS(mg/l)
'97.3.6 까지	허가대상	특정지역	50	50
		일반지역	150	150
	신고대상	특정지역	350	350
		일반지역	500	500
'97.3.7 부터	허가대상	현행기준과 동일		
	신고대상	특정지역	150	150
		일반지역	500	500
	규제미만	특정 및 일반지역	1500	1500

(환경부)

### 제 3절 연구개발 내용 및 범위

#### 1. 석탄회의 이용가치 개발과 적정 혼합비율 결정

축사에서 발생하는 가축분뇨는 적절하게 처리하므로서 유기질 비료로 상품적 가치가 높은 것으로 이용되지만 그러하지 못한 경우에는 축사 관리자는 많은 노동력과 인건비를 지출해야 하고 특히, 분뇨로 인한 환경공해는 대단히 높은 것으로 지적 받고 있다.

따라서 분뇨를 자원화시키려면 수분조절재로서 톱밥, 왕겨 등을 이용해야 하는데 대체품목 개발이 절실히 요청되고 있어 화력발전소에서 전기를 생산하고 생성되는 석탄재의 이용방법의 개발을 목표로 하였으며, 그 연구내용은 다음과 같다.

- 가축분뇨와 석탄회의 적정 혼합 비율 결정
- 톱밥 등 가축분뇨처리 부자재 사용질감 및 대체효과
- 석탄회 성형기계장비 제작

#### 2. 축산농가의 퇴비화 기술 확립 및 작물시험 시용효과

본 연구(2차년도) 개발목표는 석탄회의 토양 및 작물에 미치는 영향에 대한 시험으로 축사에서 생산되는 가축분뇨에 1차년도 연구결과에 따라 석탄회 적정 혼합비율로 설정된 톱밥과 석탄회를 동일한 비율 (50 : 50)로 혼합하여 축산농가 현장조건의 퇴비화 발효조건을 확립하고 석탄회를 혼합하여 축산농가 현장에서 퇴비화하고 이들의 퇴비성분을 분석함과 동시에 사료작물포에 시용하여 실제 사료작물의 생산성을 조사 분석하고 토양에 미치는 영향을 분석하여 석탄회의 혼합이 퇴비화에 미치는 영향 및 이용가치를 확립하고자 하였다.

축분과 석탄회 혼합물의 퇴비화 기술개발을 위하여 퇴비의 성분 분석과 석탄

회가 혼합된 퇴비의 토양성상에 미치는 영향과 축분-석탄회 퇴비의 사료작물의 생산성에 대한 효과를 분석하기 위하여 옥수수, 호맥 및 알팔파를 공시하여 비료효능, 수량, 성분조성 및 토양에 미치는 영향에 대한 시험을 하였으며, 연구내용은 다음과 같다.

- 양돈농가의 석탄회 혼합 퇴비화 처리 및 발효조건 확립
- 낙농농가의 석탄회 혼합 퇴비화 처리 및 발효조건 확립
- 양계농가의 석탄회 혼합 퇴비화 처리 및 발효조건 확립
- 석탄회 혼합 축분퇴비의 사료작물(옥수수, 호맥, 알팔파) 생산성에 미치는 영향
- 석탄회 혼합 축분퇴비의 시험포장 토양의 성상에 미치는 영향

### 3. 축산농가에 대한 현장 적용시험 효과

‘석탄회의 가축분뇨처리 부자재 대체이용에 관한 연구’ 3차년도인 당해연도 연구개발 목표는 한우 및 양돈 농가 현장에서 석탄회를 가축분뇨처리 부자재로 대체 이용하는 현장적용에 대한 분석을 실시하고자 하였다.

석탄회를 기존의 가축분뇨처리 부자재 사용량의 50% (건물기준)를 대체 활용하여 무배출 퇴비화 시설에 대한 기술적용과 기계장비의 적정 운용 및 경제성을 분석하여 석탄회를 대체하는 기술의 축산농가 적용을 목표로 하였으며, 연구내용은 다음과 같다.

- 석탄회의 성형 및 강도 평가
- 한우사 적용
- 틈밥발효돈사 적용

## 제 2장 석탄회의 이용가치 개발과 적정 혼합 비율 결정

### 제 1절 서설

석탄회는 수분흡수율이 평균 48%이고 부피가 톱밥의 1/2이며 단시간에 수분을 흡수하는 능력이 뛰어나 톱밥 등 가축분뇨처리를 위한 부자재를 대체하는 품목으로 그 가치가 충분하다. 반면 석탄회는 입자 크기가  $1\mu\text{m} \sim 10\mu\text{m}$  정도의 미세한 구형입자로서 외관상 시멘트와 비슷한 색깔과 외형을 하고 있어 취급이 매우 까다롭고 먼지처럼 비산하기 때문에 석탄회의 이용성 증대를 위해서는 성형 가공방법이 강구되어야 할 것이다.

따라서 본 연구는 국내는 물론 국외에서도 석탄회를 가축분뇨처리를 위한 부자재로 이용하기 위한 연구사례가 없었기 때문에 석탄회를 가축분뇨처리를 위한 대표적인 수분조절재인 톱밥을 대체하는 비율이 어느 정도 가능하며 그 효과가 어떠한지를 연구하고자 하였다.

### 제 2절 연구방법

#### 1. 가축분뇨와 석탄회의 적정 혼합비율 결정

양돈장에서 발생하는 분뇨는 처리방식에 따라 스크레파 방식과 슬러리 방식으로 나눌 수 있는데 본 연구에서는 축산현장의 조건을 최대한으로 반영하여 스크레파 방식 (수분함량 85%)과 슬러리 방식으로 처리하는 분뇨 혼합액 (수분함량 92%)에 대한 석탄회 적정 혼합비율 결정 시험을 실시하였다.

표 3은 현재 수분조절재로 널리 사용되고 있는 톱밥을 석탄회로 대체하는 적정 비율을 시험하기 위한 혼합비율을 나타낸 것이다.

<표 3> 혼합비율

Materials No.	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

석탄회는 한국전력 삼천포 화력본부에서 직접 수집한 것이며, 성형이나 가공을 하지 않은 상태로 이용하였는데, 수분함량이 거의 없는 완전 건조상태였으며 산도는 13으로 강알칼리성을 나타내었다. 톱밥은 일반적으로 농가에서 널리 이용하고 있는 것으로 이물질과 목편, 수피 등을 제거한 상태로 이용하였는데, 수분함량이 35%였으며 산도는 5.43이었다 (표 4 참조).

<표 4> 양돈분뇨, 석탄회 및 톱밥의 특성

	Swine Manure*	Fly Ash	Sawdust
Moisture(%)	85/92	0.3	35
pH	7.26/7.29	13	5.43

\* Swine Manure : Scraper / Surry

표 5에는 석탄회의 화학적 성분을 나타내고 있다. 석탄회의 화학적 성분은  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  및  $CaO$ 가 약 64%를 차지하고 있으며, 중금속은 미량이거나 거의 없는 것으로 나타났다.

<표 5> 석탄회의 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

(한국화학연구소)

## 2. 조사항목

본 시험을 위한 발효조는 70cm x 45cm x 35cm의 플라스틱 바구니였으며 통기성이 양호한 상태로 분뇨와 석탄회 및 톱밥의 혼합물을 약 100 kg 저장할 수 있는 용기였다.

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

- 온도 : 퇴비 내부의 온도변화를 측정하기 위하여 분뇨와 석탄회 및 톱밥 혼합물의 중심부에 온도계를 꽂아 온도 변화를 측정하였다.
- 산도(pH) : 시료 일정량을 취하여 증류수에 10배 희석한 후 충분히 교반하여 정치시키고 그 상등액을 취하여 pH meter로 측정하였다.
- 수분함량 : 퇴비화 과정에서 발생하는 수분의 증발을 측정하기 위하여 시료 일정량을 일정한 간격으로 취하여 수분함량을 측정하였다.
- 유기물(Organic Matter) : 회분량은 600℃에서 3시간 회화시킨 후 측정시료에서 회분량을 뺀량을 유기물량으로 환산하였다.
- 총질소(Total Nitrogen) : Kjeldahl 방법으로 분석하였다.
- C/N 비(C/N Ratio) : 시료 중의 유기물 량을 총질소 량으로 나눈 값(%)



## 제 3절 연구결과

### 1. 온도변화

#### 가. 스크레파 방식

그림 1은 스크레파 방식으로 수거하는 양돈분뇨를 석탄회와 톱밥을 일정 비율로 혼합하였을 때 퇴비화 과정의 온도변화를 나타낸 것이다. 톱밥비율이 높을수록 최고온도 도달일자가 3일로 짧아지고 발효에 유리한 것으로 나타났는데, 이는 톱밥과 축분의 분해발열량 (3,000~4,500 kcal/kg)에 의한 온도변화가 원인으로 사료된다 (축협중앙회, 1994).

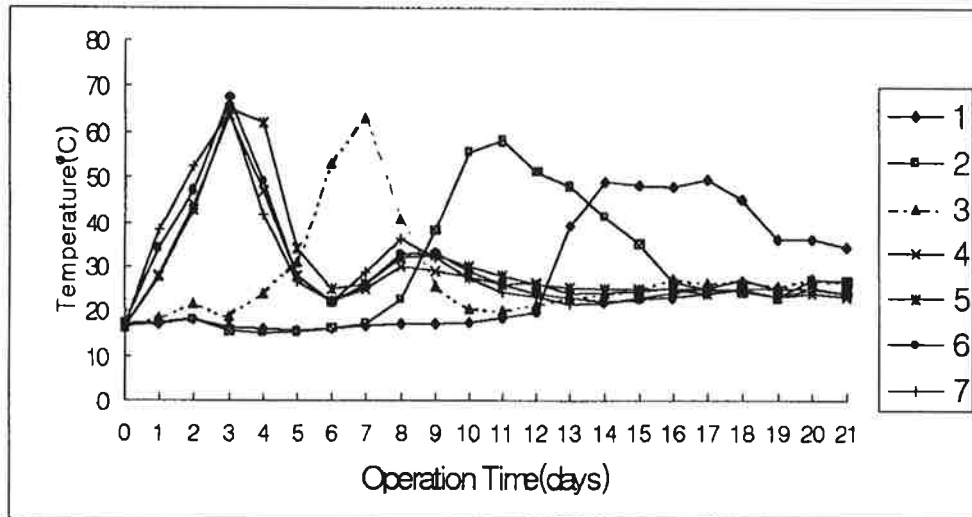


그림 1. 스크레파 돈분의 퇴비화 과정의 온도변화

나. 슬러리 방식

그림 2는 양돈분뇨를 슬러리 방식으로 수거할 경우의 석탄회, 톱밥 혼합 비율에 따른 퇴비화 과정의 온도변화를 나타낸 것이다.

톱밥비율이 낮은 처리구는 최고 온도가 13.5 °C를 나타내고, 톱밥과 석탄회 혼합비율이 같은 처리구는 24 °C이며, 톱밥혼합량이 늘어날수록 최고온도가 상승하는 것으로 나타났다.

따라서 석탄회와 톱밥을 부자재로 혼합하여 양돈분뇨의 퇴비화 과정의 발효를 시킬 경우 석탄회를 톱밥에 대하여 50% 대체하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

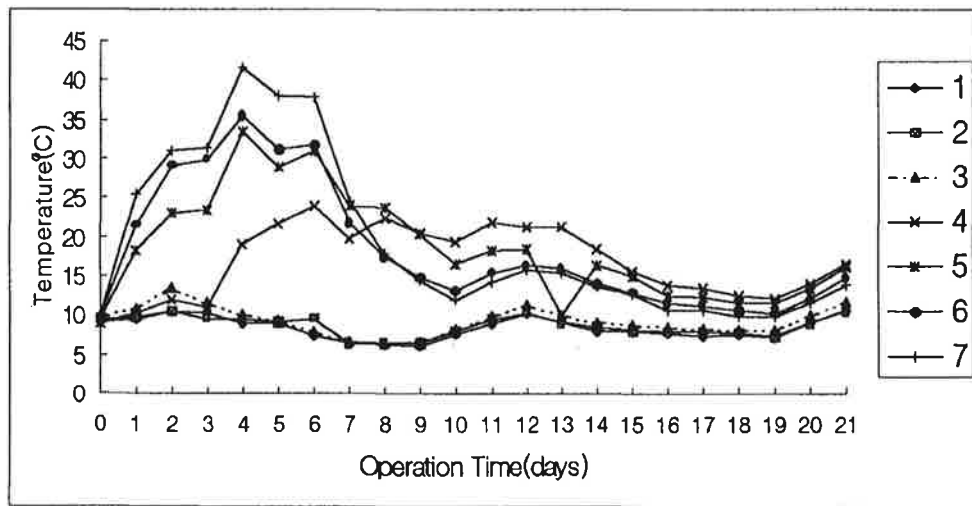


그림 2. 슬러리 돈분의 퇴비화 과정의 온도변화

## 2. 수분함량의 변화

### 가. 스크레파 방식

유기물의 퇴비화에 영향을 주는 요인으로 수분함량은 중요한 인자 중의 하나인데 그림 3은 스크레파 방식의 경우 석탄회와 톱밥 혼합비율에 따른 퇴비화 과정의 수분변화를 나타낸 것이다.

톱밥과 석탄회를 동일비율로 혼합한 경우가 최초 53.74%에서 40일, 60일 경과 후에 각각 46.6%, 48.97%를 나타내어 정상적인 퇴비화 발효조건이 됨을 나타내고 있다.

수분은 미생물의 세포구성의 요소이며, 또한 미생물은 영양분을 물에 용해된 것만을 흡수하게 되므로 퇴비물질중의 함수율은 미생물의 발아와 증식에 있어 중요한 인자중의 하나이다 (성, 1995).

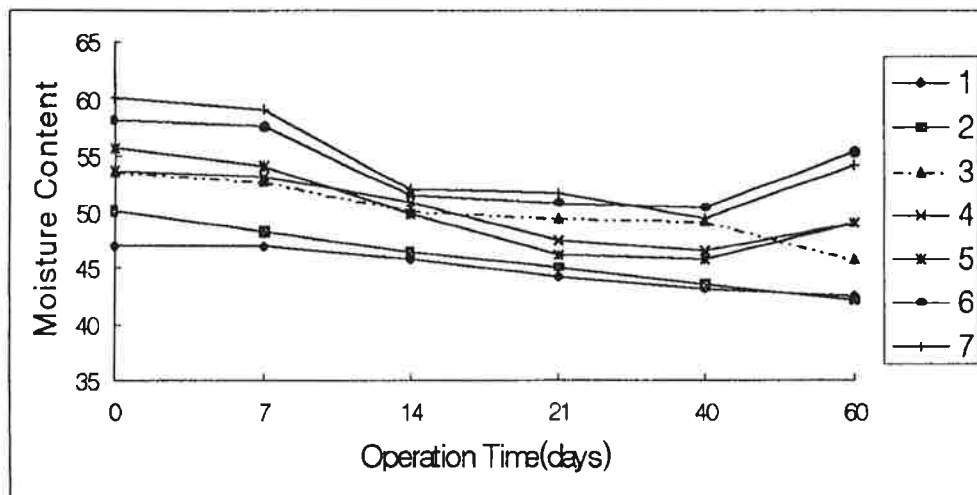


그림 3. 스크레파 돈분의 퇴비화 과정의 수분함량변화

## 나. 슬러리 방식

그림 4는 슬러리 방식의 경우 수분변화를 나타낸 것이다.

톱밥과 석탄회를 동일비율로 혼합한 경우 30~45% 범위내의 수분함량을 나타내고 있어 발효에 비교적 좋은 조건임을 알 수 있다. 슬러리 방식의 경우 석탄회의 혼합비율이 높을 경우 수분함량은 시간의 경과에 따라 감소하다가 다시 증가하였다.

따라서 가축분뇨 퇴비화 과정의 수분변화에 대한 석탄회와 톱밥의 혼합비율은 동일비율로 적용하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

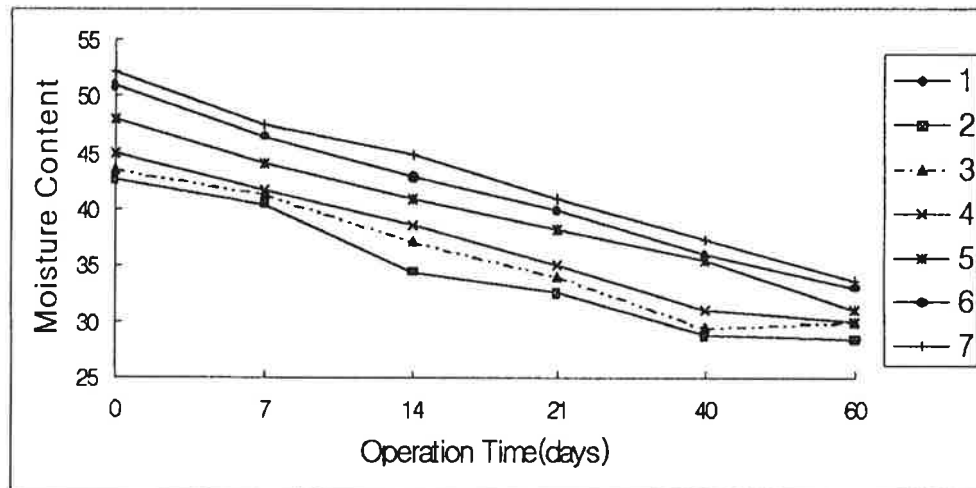


그림 4. 슬러리 돈분의 퇴비화 과정의 수분함량변화

### 3. 산도 변화

그림 5와 6은 석탄회와 톱밥의 혼합비율에 따른 스크레파, 슬러리 방식의 산도변화를 나타낸 것이다. 스크레파 방식에서는 No. 1, 2, 3에서 처럼 석탄회의 혼합비율이 높을 경우 초기 산도가 높게 나타났는데, 이러한 현상은 석탄회 자체의 산도 (pH 9.95)의 영향이 큰 것으로 사료된다.

슬러리 방식의 경우에는 분뇨의 수분함량이 높아 혐기성 분해과정중 산 생성 반응이 일어나 초기 산도가 스크레파 방식보다는 낮게 나타난 것으로 사료된다. 그 결과 초기보다 7일이 경과한 후의 산도는 증가하였으며, No. 1의 경우에는 석탄회 자체의 영향으로 산도가 높은 것으로 생각된다. 스크레파 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 사료된다.

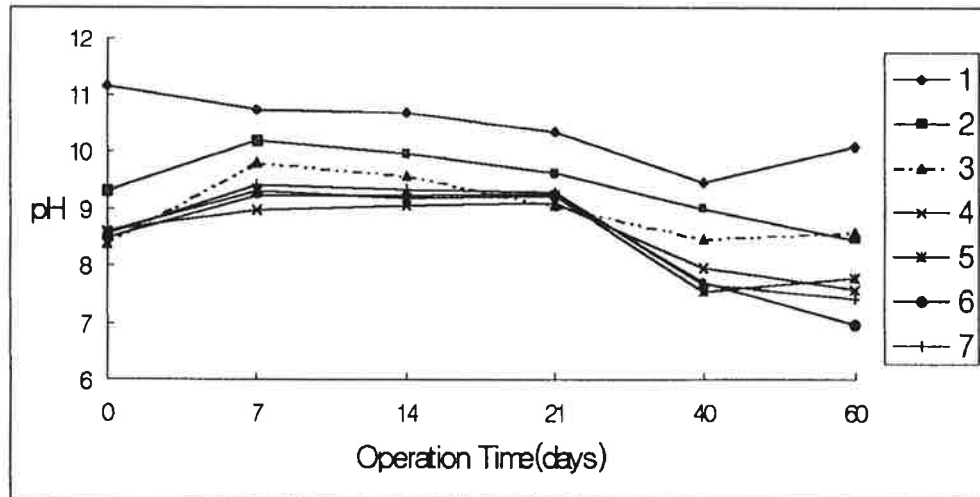


그림 5. 스크레파 돈분의 퇴비화 과정의 산도변화

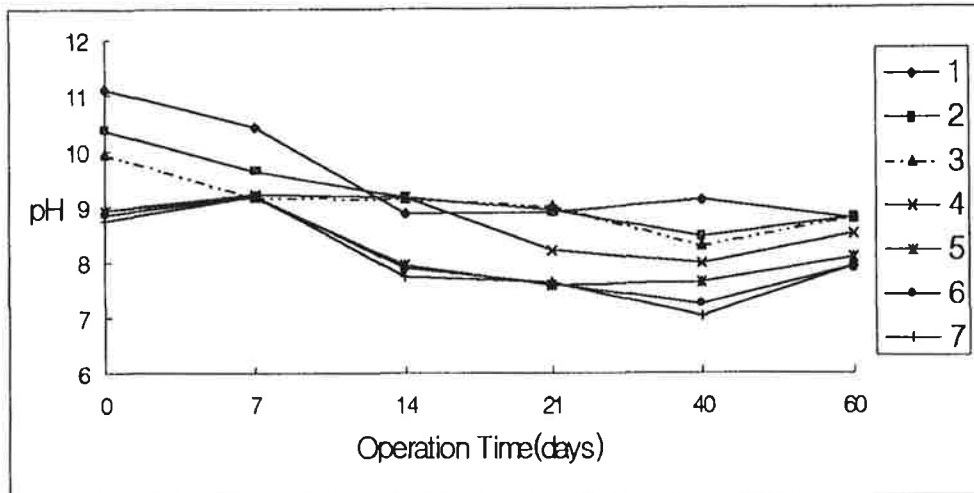


그림 6. 슬러리 돈분의 퇴비화 과정의 산도변화

#### 4. 유기물함량의 변화

표 6과 7은 석탄회와 톱밥을 일정비율로 혼합하여 부자재로 사용할 경우 스크레파, 슬러리 방식으로 수거한 양돈분뇨의 퇴비화과정의 유기물함량 변화를 나타낸 것이다.

<표 6> 스크레파 돈분의 퇴비화 과정의 유기물함량 변화

No. days	1	2	3	4	5	6	7
0	17.954	14.355	24.484	30.342	29.707	38.410	41.639
7	13.491	14.107	19.963	24.046	28.790	35.885	43.568
14	13.663	17.358	20.277	25.111	28.785	30.329	43.798
21	12.596	16.082	24.943	26.022	28.762	33.436	42.280
40	13.858	16.523	22.325	25.320	28.921	35.521	41.591
60	15.740	16.383	19.253	23.631	29.309	38.506	42.819

<표 5 참조>

〈표 7〉 슬러리 돈분의 퇴비화 과정의 유기물함량 변화 (단위 : %)

No. days	1	2	3	4	5	6	7
0	11.855	15.184	18.956	21.065	28.065	29.681	38.433
7	12.019	19.309	21.142	27.636	27.636	31.352	40.959
14	11.921	22.132	19.921	30.371	30.371	34.510	39.876
21	14.863	22.847	21.701	29.385	29.385	32.495	41.028
40	18.602	22.913	26.248	34.204	34.204	45.174	52.766
60	20.263	17.874	17.874	26.064	26.064	27.102	35.213

양돈 분뇨의 경우 유기물은 대부분이 분에 함유되어 있기 때문에 (김, 1997) 분의 양이 많은 스크레파 방식에서 유기물 함량이 높게 나타났다.

톱밥혼합량이 많아질수록 유기물함량이 증가되나 퇴비화과정의 진행에 따른 변화는 보이지 않는 것으로 나타났다.

#### 5. 질소함량 변화

표 8과 9는 석탄회와 톱밥을 일정비율로 혼합하여 부자재로 사용하였을 경우 총질소 함량의 변화를 나타내었다. 총질소함량은 퇴비화 과정 중 발생하는 암모니아태 질소의 소실정도와 부자재의 성질에 따라 차이를 나타내는데 톱밥 혼합량이 늘어날수록 질소함량이 증가되고 있다. 그러나, 발효과정 진행에 따라서는 일정한 경향이 나타나지 않았다.

일반적으로 분 중의 질소성분은 무기화가 늦지만 뇨의 경우에는 쉽게 무기화 (건국대 동자원센터, 1997) 되고, 질소는 분뇨성분 중에서 수질오탁과 농작물 피해에 큰 영향을 끼치는 원소이며 일반적으로 분 보다는 뇨의 질소 함량이 높기 때문에 슬러리 방식의 초기 질소농도가 높게 나타난 것으로 생각된다.

<표 8> 스크레파 돈분의 퇴비화 과정의 질소함량 변화 (단위 : %)

No. 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	0.452	0.548	0.604	0.651
21	0.383	0.343	0.520	0.466	0.537	0.672	0.635
40	0.363	0.365	0.470	0.459	0.595	0.684	0.668
60	0.372	0.385	0.425	0.455	0.706	0.708	0.715

<표 5 참조>

<표 9> 슬러리 돈분의 퇴비화 과정의 질소함량 변화

No. days	1	2	3	4	5	6	7
0	0.588	0.424	0.405	0.476	0.523	0.536	0.632
7	0.392	0.436	0.443	0.577	0.592	0.757	0.621
14	0.391	0.434	0.450	0.559	0.622	0.616	0.831
21	0.445	0.466	0.517	0.476	0.522	0.581	0.512
40	0.448	0.539	0.553	0.578	0.556	0.848	0.779
60	0.368	0.387	0.387	0.489	0.455	0.421	0.549

## 6. C/N비의 변화

C/N비는 퇴비의 부숙도를 판단하는 기준으로 이용되기도 하지만 C/N비는 원료에 따라 일정하지 않기 때문에 퇴비의 부숙도를 결정하는 완벽한 기준이라 할 수는 없다. 그러나 가축분뇨 처리과정의 마지막 생성물인 퇴비에 있어서는 C/N비가 매우 중요한 요인이므로 시험 연구의 필요성이 인정되었다.



양돈 분뇨의 경우 유기물은 거의 대부분 분에 함유되어 있기 때문에 분은 C/N비가 크지만 노는 작은 것으로 나타났다 (건국대 동자원센터, 1997). 그렇기 때문에 스크레파 방식보다는 슬러리 방식으로 제조한 퇴비의 C/N비가 훨씬 낮게 나타난 것으로 사료된다.

<표 10> 스크레파 돈분의 퇴비화 과정의 C/N비 변화

No. days	1	2	3	4	5	6	7
0	50.718	43.500	58.163	53.893	47.229	57.586	65.265
7	46.521	33.193	44.461	53.082	51.411	62.409	74.603
14	32.687	43.613	46.400	55.555	52.527	50.213	67.278
21	32.892	46.886	47.967	55.841	53.561	49.756	66.583
40	37.901	45.268	47.500	54.967	48.607	51.931	62.262
60	42.312	42.553	45.301	51.936	41.514	54.387	59.887

<표 5 참조>

<표 11> 슬러리 돈분의 퇴비화 과정의 C/N비 변화

No. days	1	2	3	4	5	6	7
0	20.162	35.811	46.805	45.727	53.662	55.375	61.690
7	30.661	44.287	47.725	38.289	46.682	41.416	65.357
14	30.488	50.995	44.269	43.011	43.828	56.023	47.986
21	33.339	49.028	41.975	40.692	56.293	55.923	30.133
40	41.522	42.510	47.465	46.403	61.518	53.908	67.735
60	55.063	46.186	44.643	44.785	57.284	64.375	64.140

표 10과 11에서 보는 바와 같이 톱밥 혼합량이 증가할수록 C/N비는 20에서 60으로 증가되었고 톱밥과 석탄회의 혼합비율이 동일비율인 처리 4의 경우 발효과정 중 변화는 거의 없었다.

따라서 이상과 같이 온도, 수분, 산도, 유기물, 질소 및 C/N비 변화를 종합해 볼 때 스크레파방식과 슬러리방식으로 수거한 양돈분뇨의 퇴비화를 위한 부자재로서 석탄회의 가치는 톱밥 50% 정도와 대체가 가능하고, 50% 대체한 경우가 퇴비화 발효에 상대적으로 양호한 조건이라고 종합할 수 있었다.

#### 4. 톱밥 등 가축분뇨처리 부자재 사용질감 및 대체효과

축산농가의 분뇨처리 과정에는 퇴비화를 위한 부자재로 톱밥, 왕겨, 볏짚 등이 다량 사용되고 있는데, 수분흡수능력이나 이화학적 특성에 따라 사용량과 퇴비의 품질이 달라질 수 있다. 표 12는 주로 이용되고 있는 수분조절용 부자재의 특성을 나타낸 것으로 톱밥이 가장 뛰어난 수분흡수능력을 가져 축산농가에서 가장 널리 이용되고 있다.

그러나 톱밥은 세계각국의 원목 수출량 감소에 의한 여파는 대부분의 원목수급을 수입에 의존하고 있는 우리나라에 많은 영향을 미치게 된다. 또한 수입 원목의 가격 상승은 국내 톱밥수급에 까지 많은 문제를 발생하여 가축분뇨처리에 이용되는 톱밥수급과 가격에도 영향을 미쳐 축산농가는 축산물의 생산비 상승과 경영비 가중으로 심각한 어려움이 닥쳐 올 것으로 예상된다.

톱밥 가격의 변화추세를 보면 '91년 톤당 2~3만원이던 것이 '94년에는 톤당 5만원으로 상승하였고 최근 ('98년 9월)에는 톤당 11만원으로 상승하였다. 여기에서 U.R 타결과 WTO체제 출범에 따른 미작농업의 작부면적의 감소가 예상되어 미곡 부산물인 왕겨의 생산도 감소될 전망이다.

〈표 12〉 부자재의 성상

구 분	수 분 (%)	회 분 (%)	용 적 중 (kg/l)	최대용수 량(%)	용출액의 pH
톱 밥	13.09	0.95	0.11	756.6	5.4
왕 겨	11.0	27.32	0.09	229.3	7.2
벧 질	12.86	17.59	0.07	347.2	7.1
땅콩껍질	12.84	3.38	0.16	214.2	5.1
파 라이트	0.78	98.39	0.08	450	7.5
지오라이트	7.78	87.62	0.75	84.6	6.1

본 연구개발 사업의 세부내용으로 검증된 석탄회의 혼합비율을 적용하면, 현재 축산농가에서 사용하고 있는 톱밥의 1/2을 석탄회로 대체하였을 때 톱밥 절감효과 및 대체효과를 분석하면 표 13과 같다.

〈표 13〉 석탄회의 톱밥 대체효과

전량 톱밥사용	석탄회 1/2 대체	대체 효과	비 고
월 톱밥 사용량 20톤, 1,500 천원 연간 톱밥비용 = 18,000천원 연간 퇴비수입 월 40톤 x 12월 = 4,800천원	월 톱밥 사용량 10톤, 750 천원 연간 톱밥비용 = 9,000천원 연간 퇴비수입 = 4,800천원	월 750 천원, 연간9,000천원의 톱밥경비절감 효과	모든 100두(전체두 수 1,000두) 규모의 양돈농가(스크레파 식 분뇨제거방식)

\* 물류비용을 포함한 제경비는 톱밥과 동일하다고 가정한 분석치임

한편, 국내에서 연간 발생하는 석탄회 (Fly Ash)는 '98년말 현재 약 381만톤으로 재활용 실적은 총발생량의 18.3% 수준인데, 재활용 실적이 저조한 이유는 주로 건축재로서 사용되고 나머지는 회처리장에 투기하는 방법을 써왔기 때문이다 (표 14 참조). 그러나 회처리장의 확보는 주민반대, 매입가격

상승 등으로 시간이 지날수록 어려운 상태에 있다.

따라서 석탄회의 가축분뇨처리 부자재로서의 이용은 축산현장의 애로사항 해결을 위한 핵심기술이며, 축산농가 공급방안을 제시하여 이용가치를 증대시켜 나가야 할 것이다.

<표 14> 외국의 석탄회 재활용 현황

국 가	회발생량 (kt/연간)	재활용량 (kt/연간)	재활용율 (%)	연 도
오스트레일리아	7,900	800	10	1990
벨 기 에	1,090	795	73	1989
카 나 다	5,250	1,575	30	1987
프 랑 스	2,605	1,300	50	1987
독 일	11,600	6,465	56	1989
이탈리아	1,435	900	63	1988
일 본	3,925	1,920	49	1989
영 국	12,540	6,120	49	1989
미 국	65,190	15,895	24	1989
중 국	62,500	16,200	26	1989

#### 5. 석탄회의 성형기계장비 제작

석탄회를 취급이 용이하고 수분흡수능력이 유지되며 가축분뇨와 혼합하여 퇴비화 하였을 때 석탄회가 갖추어야 될 조건으로 ① 수분흡수능력과 가축분뇨와 혼합되어 교반되는 과정에서 쉽게 파쇄되어야 하며, ② 퇴비화 되어서는 토양에 부정적인 영향을 주지 않아야 한다는 것이다.

상기의 석탄회의 성형을 위한 두가지 점을 검토한 후 최적의 방법이라고 인정된 방법에 대한 기계장비의 설계 및 제작을 하였다(그림 7, 8 참조).

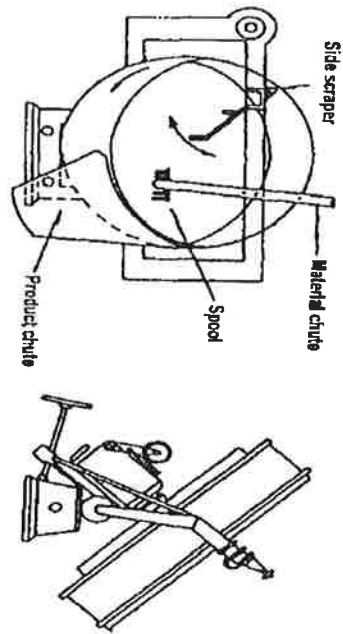


그림 7. 석탄회 성형기계 설계도면 (구형입자)

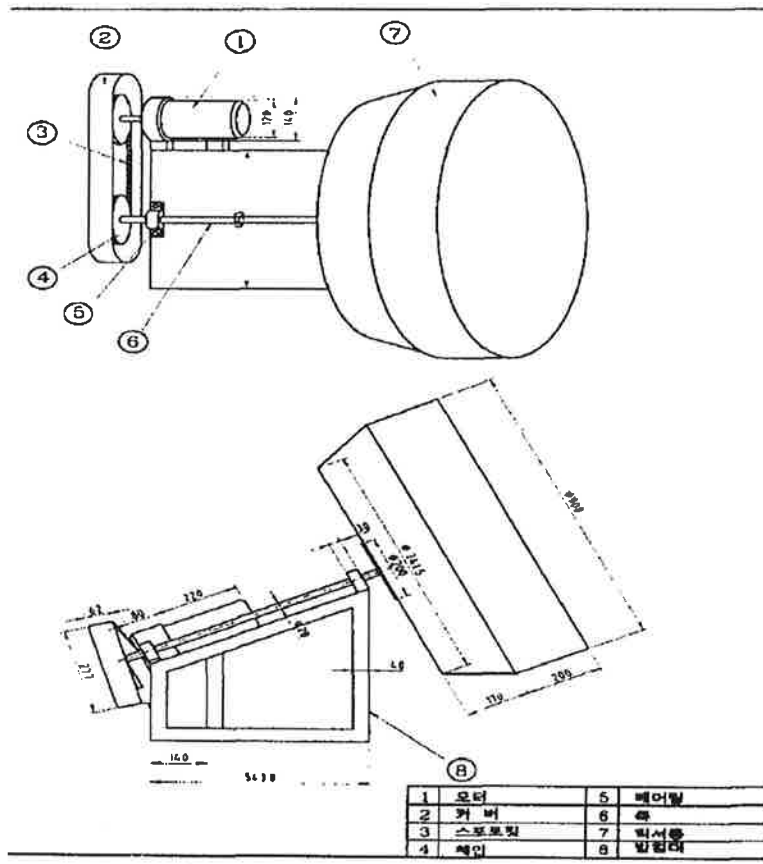


그림 8. 석탄회 성형기계 설계도면 (구형입자)

## 제 3장. 축산농가의 퇴비화 기술확립 및 작물 시험 시용효과

### 제 1절 서설

석탄회를 가축분뇨 부자재로서의 가치개발과 이용성 증진을 위한 본 연구 개발 사업의 2차년도 연구목표가 축산현장에서 발생하는 축종별 가축배설물에 석탄회를 다량 혼합하여 퇴비화하고 사료작물포에 사용하여 실제 사료작물의 생산성을 조사 분석하고 토양에 미치는 영향을 분석하고자 축분과 석탄회 혼합물 퇴비의 성분 분석과 토양성상에 미치는 영향 및 축분-석탄회 퇴비의 사료작물의 생산성에 대한 효과를 분석하기 위하여 옥수수, 호맥 및 알팔파를 공시하여 비료 효능 시험을 하였다.

### 제 2절 연구 방법

#### 1. 처리 및 시험구 배치

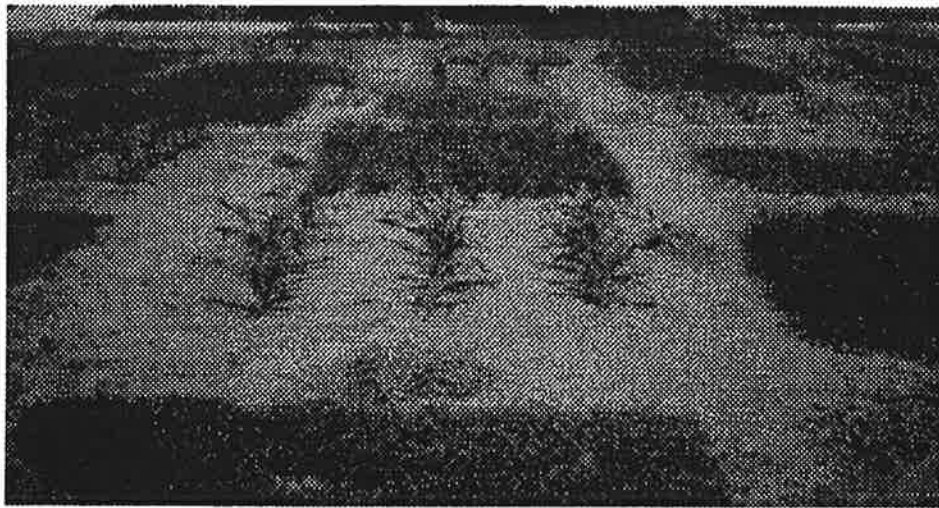
가축분뇨와 석탄회를 혼합한 퇴비의 사료작물에 대한 비료효능을 분석하기 위하여 <표 15>와 같은 처리와 시험구 배치를 하였다.

공시 사료작물은 옥수수, 호맥 및 알팔파로 하며 이들 각각의 작물에 대하여 퇴비 무처리구 (대조구), 톱밥혼합 퇴비구 (우분, 돈분, 계분) 및 톱밥의 50%를 석탄회로 대체한 퇴비구 (우분, 돈분, 계분)로 나누어 난괴법 3반복으로 배치하였다.

각 단위 시험구 면적은  $3.3 \text{ m}^2$  (1평)로 하였으며 각 작물에 대한 비료 3요소 시비와 재배방법은 관행에 준하였다 (그림 9).

<표 15> 작물에 대한 퇴비의 효과시험을 위한 시험구 배치

작 물	처 리	대조구	톱 밭			톱밭 + 석탄회		
			우분	돈분	계분	우분	돈분	계분
옥 수 수		3	3	3	3	3	3	3
호 맥		3	3	3	3	3	3	3
알 팔 파		3	3	3	3	3	3	3



<그림 9> 파종 후 4주째 포장 전경

## 2. 시험포장

시험포장은 경남축산진흥연구소 사료작물포를 이용하였으며 퇴비 사용량은 옥수수(박 등, 1995)의 연구결과를 참고하여 기비와 추비를 합하여 연간 80톤/ha 범위내로 하였다.

## 3. 퇴비 제조

공시 퇴비는 우분, 돈분 및 계분을 축산농가에서 관행으로 하고 있는 전량 톱밭을 혼합한 퇴비와 톱밭 혼합량의 50%를 석탄회로 대체하여 제조한 퇴



비를 60일 이상 부숙시킨 후 사용하였다.

공시퇴비는 본 연구개발 사업에 참여하고 있는 낙농 (최문호), 양돈 (장지성) 및 양계 (고영국) 농가의 현장조건에서 제조하였다.

#### 4. 조사항목

가. 퇴비분석 : 낙농분뇨, 양돈분뇨 및 양계분과 관행으로 행하고 있는 톱밥을 혼합한 퇴비 및 톱밥 혼합량의 50%를 석탄회로 대체한 우분퇴비, 돈분퇴비 및 계분퇴비의 성분을 분석하였는데 분석항목은 다음과 같다.

: pH, E.C, 수분, 유기물, 인산, T-N, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Cd, Cr, Hg, As, B

나. 토양분석 : 시험포장의 토양을 작물의 파종전의 토양을 분석하고 퇴비를 시비한 후 옥수수, 호맥 및 알팔파 등 3종의 사료작물을 재배하여 수확후의 토양성분을 분석하여 토양성상의 차이를 비교분석 하였다.

: pH, dS/m, 유기물, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Cd, Cr, Hg, As, B

다. 사료작물생산성 분석 : 사료작물 3종의 생산성을 비교 분석하였다.

라. 사료작물 분석항목 : 건물수량, 생초수량, 10a당 건물수량, 10a당 생초수량, 초장, 옥수수 종실무게, 단위면적당 사료작물의 일반성분 생산량

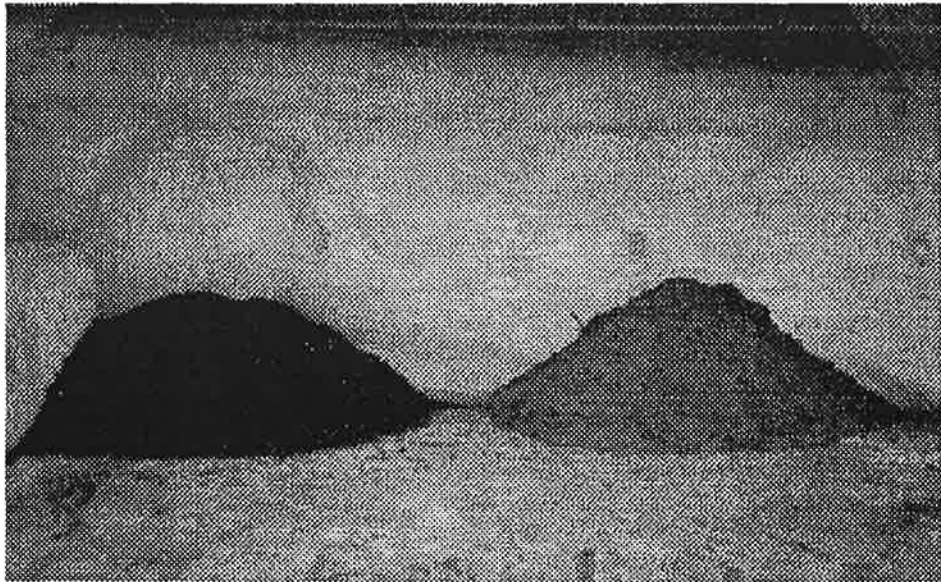
#### 5. 젖소분뇨 퇴비화

젖소분뇨는 본 연구개발 사업에 참여한 고성군 소재의 제일목장 (대표 : 최문호)에서 현장조건으로 퇴비화 하였는데, 분뇨 수거는 로더, 트랙터 혹은 인력수거방식으로 1일 1회 수거하였고 특별한 고액 분리시설은 갖추지 않고 분뇨를 분리하지 않았다. 분뇨처리시설은 퇴비사 (지붕설치 및 바닥방수처리)에 로더나 트랙터를 이용하였으며 액상처리시설이 없는 무배출 분뇨혼합

처리방법이었으며 퇴비화를 위한 부자재로는 톱밥을 분뇨와 비슷한 양으로 혼합하여 수분조절하였으며 교반은 일정치 않았으나 매일 1회를 기준으로 하였다. 분뇨처리장에서의 처리기간은 평균 (관행) 30일정도 소요되었고 후숙 기간을 40여일 가졌다.

부자재를 석탄회로 대체하기 위하여 관행으로 혼합하는 톱밥의 50%를 대체하고 혼합하여 로더나 트랙터를 이용하여 매일 1회의 뒤집기를 하여 발효가 잘 되도록 하였다.

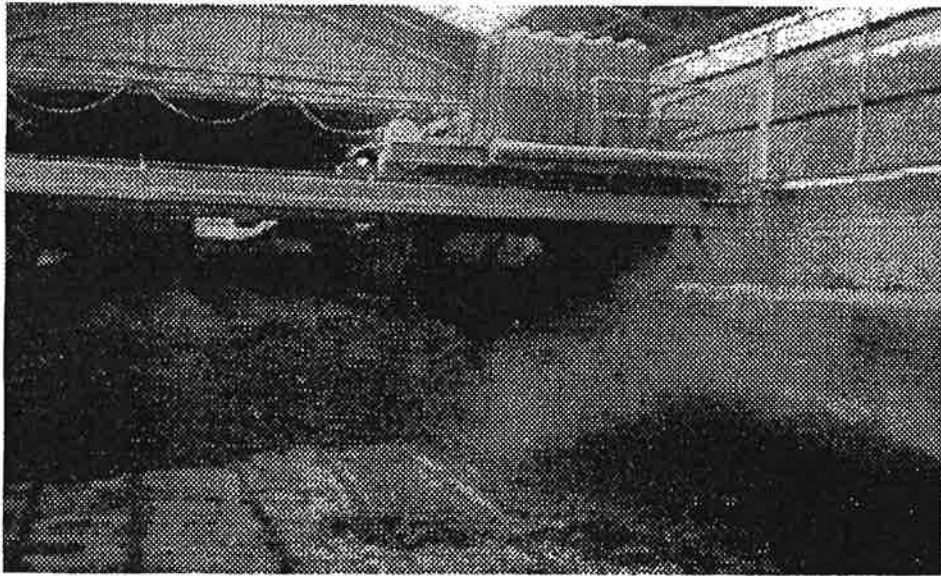
<그림 10>의 왼쪽은 석탄회를 혼합하지 않은 축분-톱밥 퇴비이며, 오른쪽은 축분-석탄회 퇴비로서 석탄회를 혼합하면 회색을 띄게 된다.



<그림 10> 석탄회 혼합 퇴비

## 6. 양돈분뇨 퇴비화

양돈분뇨는 고성군 마암면 소재의 세은축산 (대표 : 장지성)에서 이루어졌는데, 분뇨 수거는 스크레파 방식으로 1일 1회 수거하였고 고액 분리하지 않고 분뇨를 혼합하여 교반식 기계발효시설 (로타리 교반기 부착)이 설치된 분뇨처리장으로 옮겨 톱밥과 혼합하여 퇴비화하는 무배출 분뇨 혼합처리 방법이였다 (그림 11 참조). 이 농가의 관행으로 하고 있는 퇴비화를 위한 부자재는 톱밥을 분뇨와 비슷한 양으로 혼합하여 수분조절하고 교반은 매일 1회하며 처리기간은 평균 (관행) 20일 소요되고 있으며 후숙기간이 40여일 소요되었다. 석탄회 대체를 위하여 분뇨처리장에 자연유하식으로 투입되는 분뇨혼합물과 톱밥을 혼합하는 기존의 관행적 방법을 그대로 적용하면서 톱밥과 동시에 석탄회를 필요량 만큼 투입하여 혼합하였다. 이후의 퇴비화 과정은 동일하게 적용하였다.



<그림 11> 분뇨혼합물과 톱밥 및 석탄회를 혼합하고 퇴비화하는 로타리 교반식 축분발효시설

## 7. 양계분 퇴비화

산탄계분의 퇴비화를 위하여 고성군 소재의 승의원 (대표 : 고영국)에서 행하였는데, 계분의 수거는 자동화 케이지 하부에 설치된 계분이송벨트방식으로 1일 1회 수거하였고 계분처리시설은 교반식 기계발효시설 (로터리식)로 무배출 퇴비화 방법을 사용하였다. 이 농가에서 관행으로 사용하고 있는 부자재는 톱밥을 분뇨와 비슷한 량으로 혼합하여 수분조절하고 있었다. 교반은 1일 1회로 발효조내 처리기간은 평균 (관행) 20일이고 후숙기간으로 40여일 소요되었다.

석탄회 대체를 위하여 계분은 계분이송벨트를 타고 계분처리장으로 이송되고 벨트에서 계분이 떨어지는 위치에 톱밥을 혼합하는 기존 관행적 방법을 그대로 적용하면서 톱밥과 동시에 석탄회를 50% 대체하여 혼합하였다. 이후의 퇴비화 과정은 다른 분뇨처리와 동일하게 적용하였다.

## 8. 축분-석탄회 퇴비시용이 토양성상에 미치는 영향

석탄회는 그 자체로서 토양개량 효과가 인정되고 있는데, 무, 배추, 감 및 밤나무에 대한 석탄회의 다량시용 시험에서 석탄회 시용으로 가용성 붕소가 증가하며, 수량이 증가되는 것으로 보고하고 있다 (하, 1996).

본 연구에서는 석탄회를 혼합한 축산분뇨 퇴비가 토양에 미치는 영향을 조사하기 위하여 경남축산진흥연구소 사료작물포에 퇴비무시용구, 톱밥우분퇴비, 톱밥돈분퇴비, 톱밥계분퇴비, 석탄회우분퇴비, 석탄회돈분퇴비 및 석탄회계분퇴비를 각각 사료작물의 표준시비량에 준하는 수준으로 사용하여 작물의 수량과 영양생산량을 비교분석하고 작물의 파종전 토양성분과 작물을 수확한 후의 토양성분을 비교하여 석탄회를 혼합한 축분퇴비가 토양에 어떤 영향을 미치는가를 분석하였다.

토양시료 채취는 포장정지가 끝난 4월 25일 퇴비를 사용하지 않은 토양을 채취하였고 각 퇴비를 사용한 토양은 퇴비를 사용한 직후인 4월 28일 채취하였다. 또한 작물수확후인 8월 25일 토양을 채취하여 분석하였다.

#### 9. 축분-석탄회 퇴비사용이 사료작물 생산성에 미치는 영향

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

작물별 파종량 및 파종방법은 옥수수의 경우 10a 당 3 kg의 종자를 70 cm x 20 cm 간격으로 2알씩 점파하였으며 4~5엽기에 한 포기씩만 남기고 솟아 주었다. 호맥은 10a 당 15 kg의 종자를 20 cm 간격으로 조파하였으며 알팔파는 10a 당 2.5 kg을 산파하여 수확은 1회 하였다.

### 제 3절 연구결과

#### 1. 축종별 (낙농, 양돈, 양계) 가축분뇨와 석탄회의 혼합 퇴비화

낙농, 양돈 및 양계농가의 현장조건으로 제조한 퇴비의 영양상태를 분석한 결과는 <표 16>, <표 17>과 같다.

석탄회를 혼합하지 않고 우분, 돈분 및 계분과 톱밥만으로 만들어진 퇴비는 석탄회가 혼합된 퇴비에 비하여 유기물 함량이 많았으며 특히 톱밥계분퇴비가 총질소, 인산 및 칼리 함량이 많아 비료 3요소 성분이 가장 많이 함유된 것으로 나타났다. pH는 석탄회 혼합 여부에 따라서는 차이가 없었으나 (7.75~9.80), 유기물 함량과 인산함량은 석탄회 혼합으로 현저하게 낮아지는 것으로 나타났다. 그외에 Ca, Mg, Fe 등은 차이가 없었다.

<표 16> 축분퇴비의 성분

구분 \ 항목	pH	EC	유기물	인산	T-N	K	Ca	Mg	Fe
	(1:5)	(dS/m)	%						
톱밥 우분	8.57	5.40	50.97	2.53	1.26	0.84	0.50	0.50	0.80
톱밥 돈분	7.75	7.34	71.07	2.24	1.07	0.84	0.29	0.29	0.17
톱밥 계분	9.54	14.19	47.36	3.92	1.69	1.55	0.68	0.42	0.34
석탄회 우분	8.26	3.76	31.00	1.41	0.93	0.20	0.35	0.27	0.22
석탄회 돈분	8.09	5.97	31.57	1.43	1.51	0.36	0.88	0.33	0.32
석탄회 계분	9.80	6.97	28.97	2.90	0.91	0.69	0.52	0.40	0.30

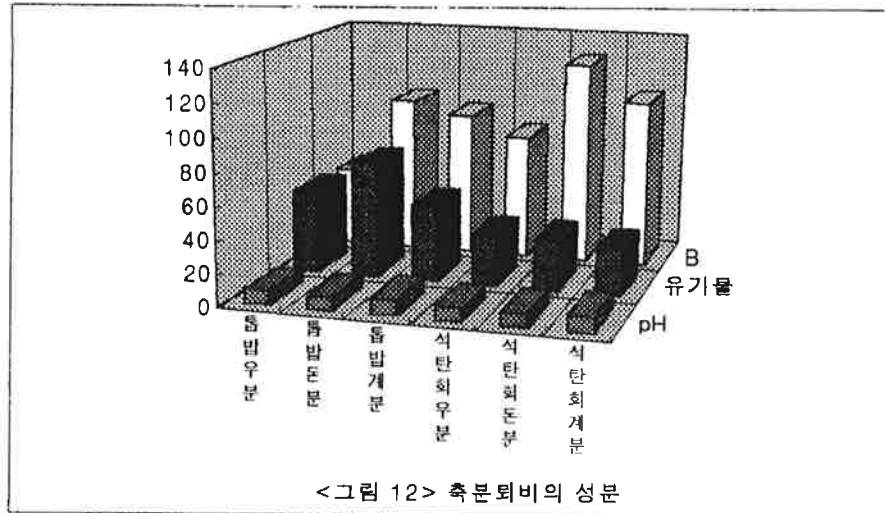
<표 17>은 축분퇴비의 미량성분을 나타낸 것으로 석탄회를 가축분뇨와 혼합하여 퇴비화 하였을때 발생할지 모르는 몇가지의 중금속에 대한 검출여부를 조사한 것이다.

Mn, Zn 및 Cu는 석탄회 혼합으로 현저히 저하되었으나, Cr은 톱밥계분퇴비와 석탄회 혼합퇴비에서 나타났다.

<표 17> 축분퇴비의 성분

구분 \ 항목	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd	Cr	Hg	As	B
	(ppm)								
톱밥 우분	420.6	445.7	100.9	ns*	ns	ns	ns	ns	49.7
톱밥 돈분	223.4	520.4	103.9	ns	ns	ns	ns	ns	97.5
톱밥 계분	379.5	431.0	86.4	ns	ns	52.7	ns	ns	89.8
석탄회 우분	56.4	157.6	41.5	ns	ns	37.6	ns	ns	77.6
석탄회 돈분	76.7	218.8	95.2	ns	ns	40.9	ns	ns	126.2
석탄회 계분	114.6	255.2	31.3	ns	ns	44.3	ns	ns	103.7

\* ns : 미량으로서 측정되지 않았음.



Pb, Cd, Hg 및 As는 석탄회를 혼합 여부에 관계없이 가축분뇨 퇴비에는 없는 것으로 나타났다. 특히, 석탄회를 혼합한 축분퇴비의 B 함량이 석탄회를 혼합하지 않은 퇴비보다 높게 나타나고 있는데, 이는 석탄회의 성분 중에 B 성분이 많은 것에서 그 이유를 찾을 수 있다.

따라서 낙농, 양돈 및 양계농가의 현장조건에서 제조한 축분퇴비의 성분을 분석한 결과는 부자재로서 톱밥을 위주로 한 축분퇴비나 톱밥의 절반을 석탄회로 대체하여 제조한 축분퇴비가 어떤 유해성분도 나타나지 않았으며, 석탄회는 가축분뇨처리 부자재로서의 가치와 퇴비에 혼합되었을때의 안전성 면에서도 아무런 문제가 없다는 것을 알 수 있다.

즉 석탄회를 가축분뇨처리 부자재로 대체이용하고자 하는 본 연구개발 사업 2차년도인 당해연도 연구개발 목표로 설정한 축종별 가축분뇨와 석탄회의 혼합 퇴비화 기술은 낙농, 양돈 및 양계농가의 현장적용에 아무런 문제가 없다는 결론을 얻었다.

## 2. 축분-석탄회 퇴비시용이 토양성상에 미치는 영향

<표 18>은 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.

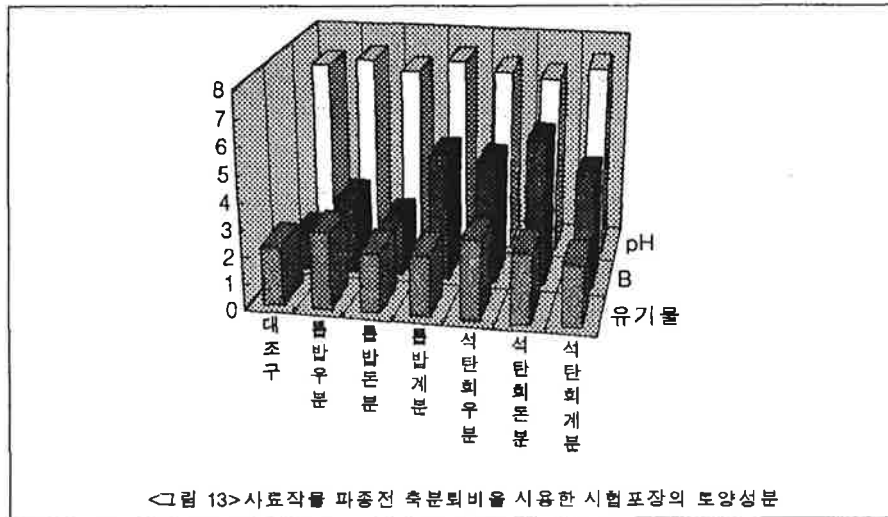
특히, 유기물은 토양의 생성작용에 관여할 뿐만 아니라 작물이 필요로 하는 다른 양분을 흡수, 보존한 후 이용율을 높여주는 작용을 하는 특성이 있으며, 우리나라의 기후 특성상 여름철 고온다우로 인하여 토양중의 탄산가스가 빗물에 녹아 탄산이 생성되어 토양중의 교환성 양이온을 녹여 토양의 산성화를 촉진시키기 때문에 낮은 pH는 작물재배에 있어 큰 문제가 된다. 그러나 본시험 포장의 토양조건은 토양산성도는 심한편이 아니며 식양질계의 유기물과 인산함량이 풍부한 토양이었다. 시험포장의 토양에서도 Pb, Cd, Cr, Hg 및 As 등 중금속 물질은 검출되지 않았다.

<표 18> 시험포장의 토양성분

분석항목	pH	EC	인 산		유기물	K	Ca	Mg	Fe
	(1:5)	(dS/m)	(ppm)		(%)	(me/100g)			(ppm)
성 분	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)								
성 분	91.5	12.4	2.3	ns*	ns	ns	ns	ns	1.31

\* ns : 미량으로서 측정되지 않았음.





〈표 13〉 사료작물 파종전 축분퇴비를 사용한 시험포장의 토양성분

〈표 19〉는 옥수수, 호맥 및 알팔파를 재배하기 위하여 제조한 퇴비를 처리별로 사료작물포에 시비하여 포장을 정지한 후 파종하기 직전의 시험포장의 토양성분을 분석한 결과를 나타낸 것이다.

〈표 19〉 사료작물 파종전 축분퇴비를 사용한 시험포장의 토양성분

항 목 구 분	pH	EC	유기물	인산	K	Ca	Mg
	(1:5)	(ds/m)	(%)	(ppm)	(me/100g)		
대 조 구	6.98	0.05	2.19	568.3	0.06	5.95	0.57
톱밥 우분	7.26	0.43	2.86	1425.9	0.71	5.97	1.87
톱밥 돈분	6.86	0.32	2.22	743.1	0.33	5.82	0.91
톱밥 계분	7.36	0.53	2.27	1185.3	0.96	6.33	1.43
석탄회 우분	7.03	0.39	2.94	903.4	0.28	6.72	1.57
석탄회 돈분	6.82	0.36	2.58	770.3	0.30	6.76	1.24
석탄회 계분	7.31	0.30	2.32	751.8	0.44	6.59	1.04

토양산도는 전체 처리구 모두 비교적 양호한 상태를 나타내고 있으며 유기물 함량의 차이를 나타내지 않고 있다.

그러나 인산함량은 석탄회를 혼합하지 않은 톱밥혼합퇴비구가 높은 경향을 나타내고 있으나 K, Ca 및 Mg은 차이가 없었다.

<표 20>은 옥수수, 호맥 및 알팔파를 재배하기 위하여 각각의 처리별로 각각의 퇴비를 투입하여 포장을 정지한 파종하기 직전의 시험포장 토양의 미량성분을 분석한 결과를 나타낸 것이다.

Fe, Mn, Zn 및 Cu 성분은 석탄회 혼합 여부나 축종에 따른 일정한 경향을 나타내지 않았으나 B 함량은 석탄회를 혼합하였을 때 증가하는 것으로 나타났다. 이는 석탄회 자체에 B 성분이 많은 데서 기인한 것으로 보인다.

특히, B 작물생육에 영향을 주는 성분으로서 양질토양에서는 0.8~2.0 ppm이 적당하지만 석탄회 시용으로 다소 과량의 B 함량을 나타내었다. 그러나 작물 수확에 따른 과량의 B 함량이 미치는 피해는 나타나지 않았다.

<표 20> 사료작물 파종전 축분퇴비를 시용한 시험포장의 토양 미량성분

항 목 구 분	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd	Cr	Hg	As	B
	ppm									
대 조 구	29.7	91.5	12.4	2.3	ns*	ns	ns	ns	ns	1.31
톱밥 우분	27.7	183.9	36.5	2.9	ns	ns	ns	ns	ns	2.83
톱밥 돈분	32.4	115.2	23.7	2.9	ns	ns	ns	ns	ns	2.15
톱밥 계분	10.8	114.2	25.7	0.3	ns	ns	ns	ns	ns	4.71
석탄회 우분	28.4	138.9	25.3	2.4	ns	ns	ns	ns	ns	4.58
석탄회 돈분	25.6	113.1	19.3	2.6	ns	ns	ns	ns	ns	5.47
석탄회 계분	16.6	101.6	18.4	1.0	ns	ns	ns	ns	ns	4.24

\* ns : 미량으로서 측정되지 않았음.

따라서 우리나라 토양의 경우 B 결핍지역이 많으므로 석탄회를 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.

즉, 사료작물 재배를 위한 포장에 석탄회를 혼합한 퇴비를 사용할 경우에 작물에 축적되어 문제를 야기할 수 있는 유해 중금속이 전혀 검출되지 않아 가축분뇨의 퇴비화를 위한 부자재로서 석탄회의 사용상 아무런 문제가 없는 것으로 나타났다.

<표 21>은 석탄회를 혼합한 가축분뇨퇴비를 사용한 토양에 재배한 옥수수를 수확한 후 시험포장의 토양성분을 분석한 결과이다.

사료용 옥수수를 재배하여 수확한 후 토양의 성분을 분석한 것으로 토양의 산도는 석탄회가 혼합된 퇴비를 시비한 구에서는 pH 7 수준을 유지하고 있었으며 석탄회를 혼합하지 않은 퇴비 및 퇴비무시용구는 pH 6 수준을 나타내었다. 유기물과 인산 함량, K, Ca, Mg 함량은 석탄회 혼합 여부 및 축종에 따른 차이가 나타나지 않았다.

<표 21> 옥수수 수확후 시험포장의 토양성분

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

즉, 우분과 돈분에 석탄회를 혼합하여 시용할 경우에는 인산함량이 다른 구에 비하여 높게 나타나는데, 이와같은 결과는 토양의 pH가 중성에 가까워 질수록 Fe 및 Al과 결합한 인산의 함량이 가용성으로 변화하기 때문이라고 생각된다.

따라서 적당량의 석탄회를 가축분과 혼합하여 사료작물포에 시용하는 것은 토양에 축적되어 있는 인산을 가용화시켜 작물생육에 도움을 주게 되고 토양개량의 효과와 인산 과잉에 의한 환경공해를 막을 수 있는 방법이라 생각된다. 이러한 사실은 석탄회를 가축분뇨처리를 위한 부자재의 50%를 대체하여 축분을 퇴비화하고 석탄회 혼합 퇴비를 시용하므로써 산성토양인 우리나라의 토양을 교정할 수 있어 전혀 부정적인 영향을 미치지 않고 있음을 나타내는 것이다.

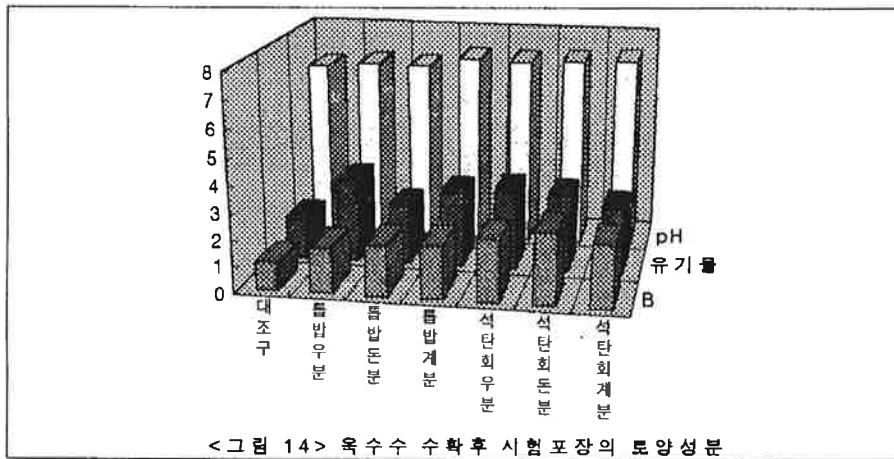
<표 22>는 석탄회를 혼합한 가축분뇨퇴비를 시용한 토양에 재배한 옥수수를 수확한 후 시험포장 토양의 미량성분을 분석한 결과로서 석탄회를 혼합한 가축분뇨퇴비가 토양에 전혀 부정적인 영향을 미치지 않는다는 것을 나타내는 것으로 Pb, Cd, Cr, Hg 및 As 성분은 검출되지 않았다.

<표 22> 옥수수 수확후 시험포장의 토양성분

항 목 구 분	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd	Cr	Hg	As	B
	ppm									
대 조 구	3.9	70.4	8.6	2.3	ns*	ns	ns	ns	ns	1.02
톱밥 우분	37.9	116.1	31.3	3.5	ns	ns	ns	ns	ns	1.68
톱밥 돈분	34.4	103.0	21.7	3.2	ns	ns	ns	ns	ns	1.87
톱밥 계분	26.3	89.4	33.5	1.3	ns	ns	ns	ns	ns	1.99
석탄회 우분	32.9	101.7	22.0	2.7	ns	ns	ns	ns	ns	2.32
석탄회 돈분	25.4	105.8	21.1	2.7	ns	ns	ns	ns	ns	2.68
석탄회 계분	16.3	90.7	19.5	1.8	ns	ns	ns	ns	ns	2.34

\* ns : 미량으로서 측정되지 않았음.

한편 B 성분은 퇴비무시용구인 대조구가 가장 낮았고 석탄회를 혼합하지 않은 톱밥우분퇴비, 톱밥돈분퇴비 및 톱밥계분퇴비를 사용했던 토양은 1.68~1.99ppm 이었으나 석탄회를 혼합하여 만든 석탄회우분퇴비, 석탄회돈분퇴비 및 석탄회계분퇴비를 사용한 토양은 2.32~1.68ppm을 나타내었다.



<표 23>은 호맥을 수확한 후의 시험포장 토양성분을 분석한 결과이다. 특히, 석탄회의 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 석탄회를 혼합한 퇴비를 사용한 토양이 양호한 상태임을 나타내고 있다.

토양중의 인산함량은 계분이나 석탄회가 혼합된 퇴비를 사용했던 토양이 우수한 것으로 나타나고 있으며, K, Ca 함량은 차이를 보이지 않았으나 Mg 함량은 계분과 석탄회를 혼합한 퇴비를 사용했던 토양에서 높게 나타났다.

이와같이 높은 Mg 함량은 산성토양을 개량하는 효과가 있을뿐만 아니라 인산성분을 공급해 주는 이중효과를 기대할 수 있기 때문에 사료작물포에 석탄회의 사용은 반드시 필요하다고 사료된다.

<표 23> 호맥 수확후 시험포장의 토양성분

구 분 \ 항 목	pH	EC	유기물	인산	K	Ca	Mg
	(1:5)	(ds/m)	(%)	(ppm)	(me/100g)		
대 조 구	6.65	0.05	1.70	413.1	0.03	5.15	0.45
톱밥 우분	6.79	0.06	2.43	745.6	0.11	5.35	0.87
톱밥 돈분	6.68	0.07	2.43	680.8	0.20	5.44	0.79
톱밥 계분	7.06	0.09	2.74	853.9	0.38	5.73	0.94
석탄회 우분	6.91	0.08	2.22	727.3	0.11	5.81	0.95
석탄회 돈분	7.15	0.09	3.10	847.0	0.23	6.39	1.06
석탄회 계분	7.10	0.07	2.68	779.3	0.31	6.09	0.92

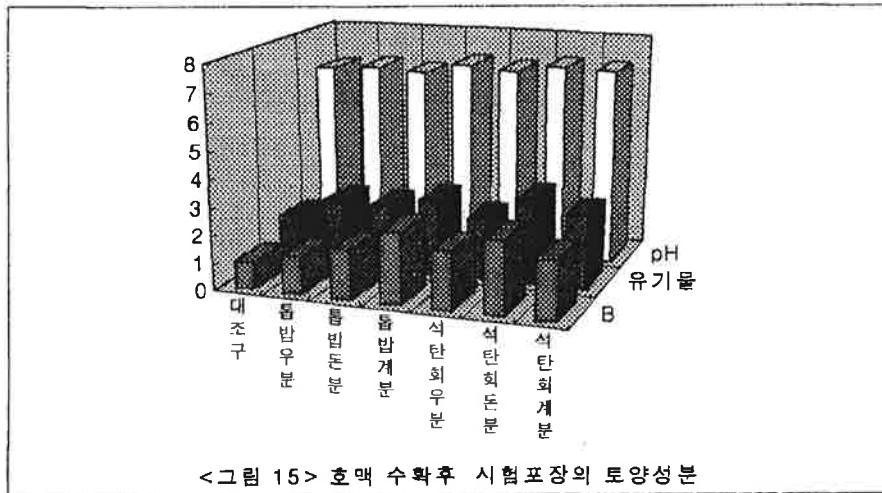
<표 24>는 호맥을 수확한 후의 시험포장 토양의 미량성분을 분석한 결과로서 토양중의 Fe, Mn 및 Zn 함량은 퇴비무시용구인 대조구와는 큰 차이가 있었으나 석탄회 혼합여부에 따라서는 차이가 없었다.

호맥재배 토양 역시 Pb, Cd, Cr, Hg 및 As 성분은 나타나지 않았는데, B 성분은 대조구가 가장 낮았고 석탄회를 혼합한 퇴비를 사용했던 토양이 높은 편이었다.

<표 24> 호맥 수확후 시험포장의 토양성분

항 목 구 분	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd	Cr	Hg	As	B
	ppm									
대 조 구	4.4	47.5	9.2	2.4	ns*	ns	ns	ns	ns	0.99
톱밥 우분	37.5	108.5	22.1	3.0	ns	ns	ns	ns	ns	1.35
톱밥 돈분	36.8	112.2	27.4	4.0	ns	ns	ns	ns	ns	1.77
톱밥 계분	16.8	90.2	25.4	1.5	ns	ns	ns	ns	ns	2.57
석탄회 우분	33.2	105.9	19.4	2.7	ns	ns	ns	ns	ns	2.08
석탄회 돈분	25.8	109.2	25.1	3.0	ns	ns	ns	ns	ns	2.65
석탄회 계분	17.2	88.3	20.0	1.0	ns	ns	ns	ns	ns	2.11

\* ns : 미량으로서 측정되지 않았음.



### 3. 축분-석탄회 퇴비시용이 사료작물 생산성에 미치는 영향

#### 가. 옥수수

<표 25>는 봄에 파종하여 여름철 사일리지용으로 재배하는 옥수수에 대한 성적으로 우분, 돈분 및 계분퇴비와 석탄회를 혼합한 우분, 돈분 및 계분퇴비를 시용한 시험포장에서 재배한 옥수수의 수량을 비교한 것이다.

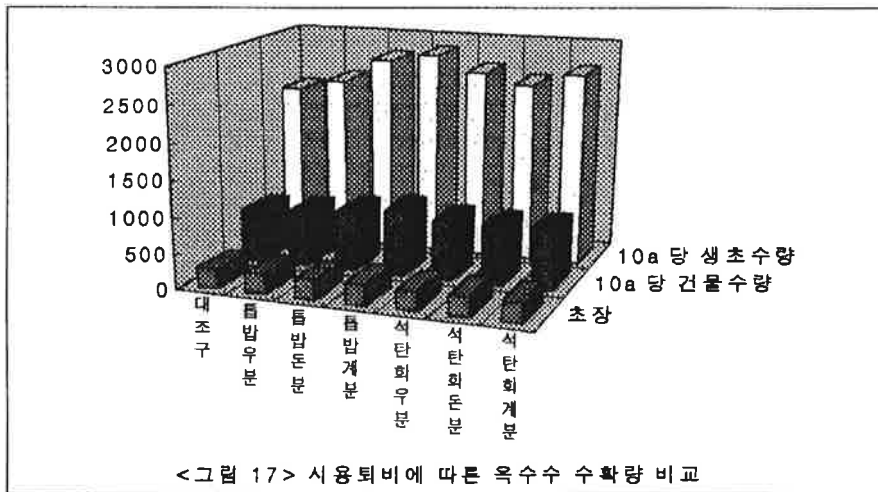
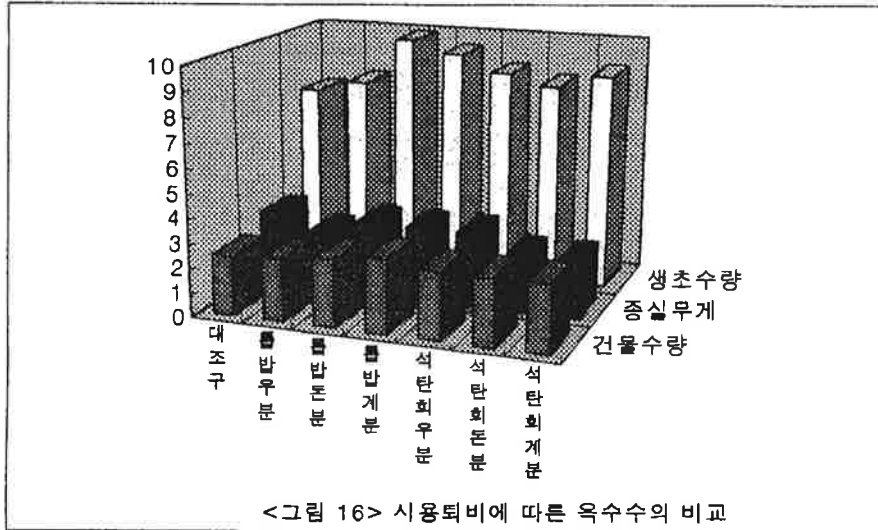
생초수량은 퇴비무시용구인 대조구 (7.46 kg)에서 가장 작게 나타났으며, 톱밥계분시용구는 9.43 kg으로서 대조구에 비하여 생초수량이 많았으며 약 21%의 증수효과가 있었다.

축중에 따라서는 톱밥우분퇴비구 (7.96 kg)가 작았으며, 계분을 혼합한 톱밥과 석탄회구에서 높은 생초수량을 나타내었다. 석탄회를 혼합한 퇴비를 시용한 포장에서의 옥수수의 생초수량은 전반적으로 우수하게 나타났다.

<표 25> 시용퇴비에 따른 옥수수 수확량 비교(kg)

항 목 구 분	생초수량	건물수량	10a당 생초수량	10a당 건물수량	종실무게	초장(cm)
대 조 구	7.46	2.42	2,238	726.3	3.07	260.4
톱밥 우분	7.96	2.56	2,388	768.5	2.39	267.4
톱밥 돈분	9.09	2.75	2,727	825.4	3.04	267.4
톱밥 계분	9.43	2.99	2,829	897.8	3.02	285.0
석탄회 우분	8.73	2.74	2,619	822.2	3.01	260.2
석탄회 돈분	8.34	2.70	2,502	810.0	2.36	264.8
석탄회 계분	8.89	2.77	2,667	831.7	2.38	273.7







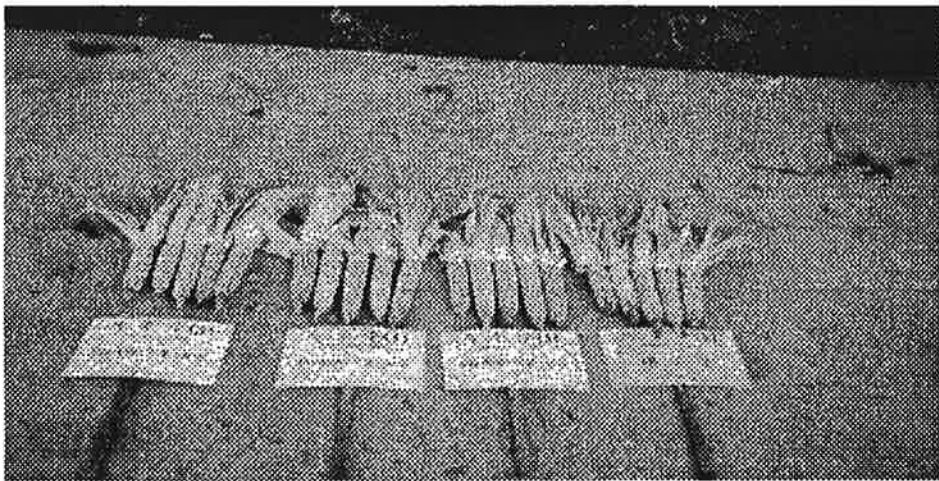
<그림 18> 옥수수 재배 및 조사 모습



<그림 19> 옥수수 재배 및 조사 모습



<그림 20> 옥수수 재배 및 조사 모습



<그림 21> 옥수수 재배 및 조사 모습

이와 같은 결과는 건물수량 및 초장에서도 같은 경향을 보이고 있으며, 10a당 건물수량은 톱밥계분퇴비시용구가 897.8 kg (대조구보다 19% 증수)으로서 가장 많이 나타났으며, 석탄회를 혼합한 퇴비구는 대조구 (726.3 kg)에 비하여 약 10~13% 증수되었다. 이와 같은 결과는 본 시험 전반에 걸쳐 나타나고 있는 계분퇴비의 비료가치를 나타내는 결과 중의 하나라고 생각된다.

즉, 가축분뇨의 퇴비화 과정에 톱밥의 50%를 석탄회로 대체하여도 옥수수의 수량에는 차이가 없을뿐 아니라 석탄회가 혼합된 퇴비를 사용한 구에서 오히려 증수되는 결과를 나타내고 있으며, 퇴비의 종류에 따라 생산성에 차이가 있는데 우분을 사용한 구는 지효성 비료이기 때문에 돈분이나 계분에 비하여 생산이 저조한 것으로 간주된다.

#### 나. 호맥

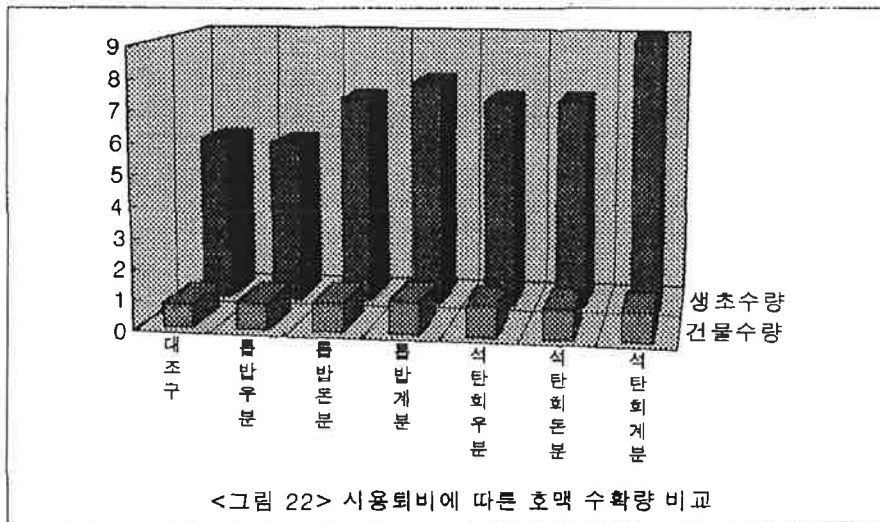
<표 26>은 우분, 돈분 및 계분퇴비와 석탄회를 혼합한 우분, 돈분 및 계분퇴비를 사용한 시험포장에서 재배한 호맥의 수량을 비교한 것으로 논 뒷그루 혹은 사료작물포에 재배하여 청예 혹은 건초로 많이 이용하는 호맥에 대한 석탄회 혼합 축분퇴비의 효과를 조사하였다.

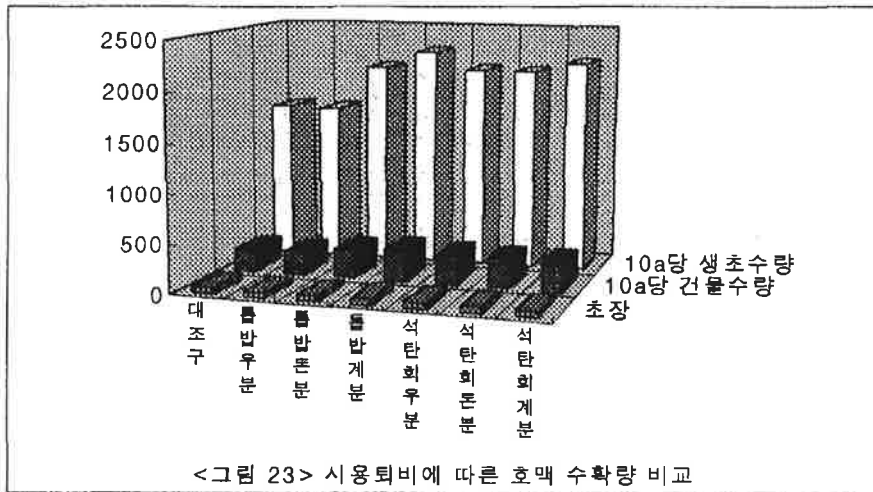
호맥의 생초수량은 석탄회를 혼합하여 만든 계분퇴비를 사용한 구가 8.96 kg으로 가장 많았고 석탄회를 혼합하지 않더라도 타구에 비하여 계분퇴비구 (7.49 kg)가 많은 생초수량을 나타내어 계분의 비료효능이 우수함을 나타내고 있다. 호맥의 10a당 건물수량 또한 계분퇴비가 319.5 kg (대조구보다 27% 증수)으로서 가장 많았으며 석탄회를 혼합한 퇴비구가 대조구 (232.2 kg)에 비하여 약 14~21% 정도 증수되어 대체로 양호한 성적을 나타내고 있다.

따라서 비교적 다비성인 호맥에 대한 수량조사 결과는 석탄회가 가축분뇨의 퇴비화를 위한 부자재로서는 물론 퇴비의 비료효능면에서도 우수한 자원임을 입증하는 결과로 사료된다.

<표 26> 시용퇴비에 따른 호맥 수확량 비교(kg)

구 분 \ 항 목	생초수량	건물수량	10a당 생초수량	10a당 건물수량	초장(cm)
대 조 구	5.42	0.774	1,626	232.2	59.6
톱밥 우분	5.37	0.881	1,611	243.4	51.4
톱밥 돈분	6.91	0.932	2,072	279.8	58.7
톱밥 계분	7.49	1.065	2,246	319.5	62.1
석탄회 우분	6.90	0.976	2,070	292.9	59.8
석탄회 돈분	6.91	0.968	2,072	290.5	60.2
석탄회 계분	8.96	0.954	2,169	286.2	61.4





<그림 24> 호맥 재배 및 조사 모습



<그림 25> 호맥 재배 및 조사 모습



<그림 26> 호맥 재배 및 조사 모습





〈그림 27〉 호맥 재배 및 조사 모습

#### 다. 알팔파

〈표 27〉은 우분, 돈분 및 계분퇴비와 석탄회를 혼합한 우분, 돈분 및 계분퇴비를 시용한 시험포장에서 재배한 알팔파의 수량을 비교한 것으로 단백질 함량이 대단히 높아 목초의 여왕이라는 알팔파에 대한 석탄회 혼합 축분 퇴비의 효과를 조사하였다.

알팔파에 대한 성적 또한 호맥과 마찬가지로 계분의 비료가치의 우수성을 잘 나타내고 있는데, 석탄회를 혼합한 가축분의 퇴비를 시용한 구가 톱밥축분시용구 보다 약 16.5~22%의 증수효과를 나타내고 있다. 특히, 석탄회-계분퇴비구 (7.70 kg)는 대조구 (5.05 kg)에 비하여 약 34.4%의 증수효과가 있었다. 전체적으로는 톱밥과 가축분의 혼합 여부에 관계없이 석탄회를 시용한 구가 많은 생초수량과 건물수량을 나타내고 있다.

특히, 석탄회를 가축분과 혼합하여 퇴비로 이용할 경우에는 옥수수나 호맥 재배지에도 큰 증수효과가 있었으나, 알팔파를 재배할 경우 그 효과는 더욱 크게 나타나고 있다. 이러한 현상은 석탄회를 시용하므로써 사료작물포에

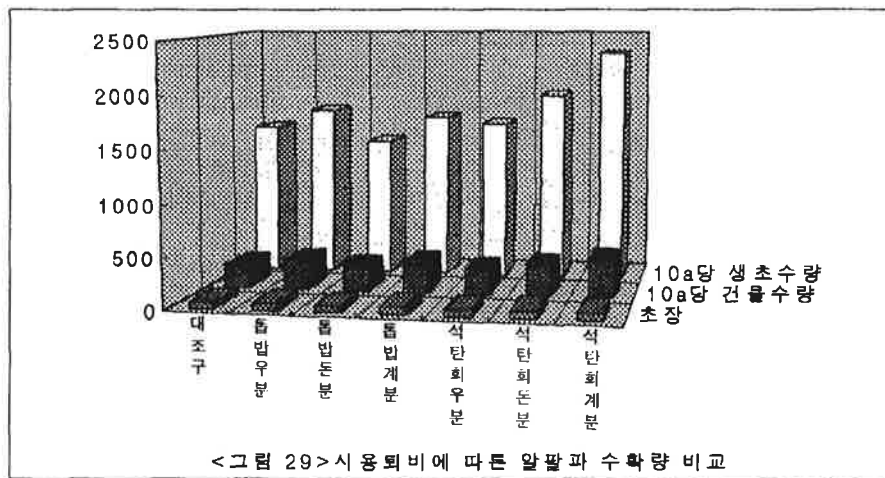
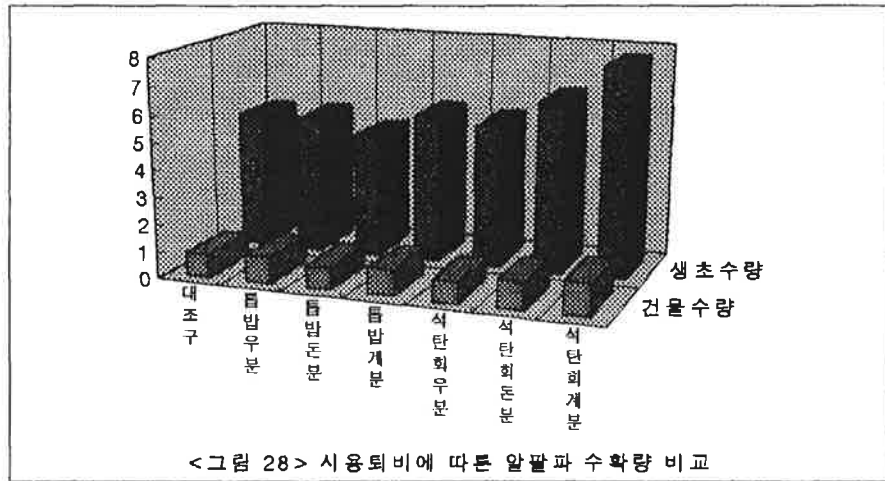


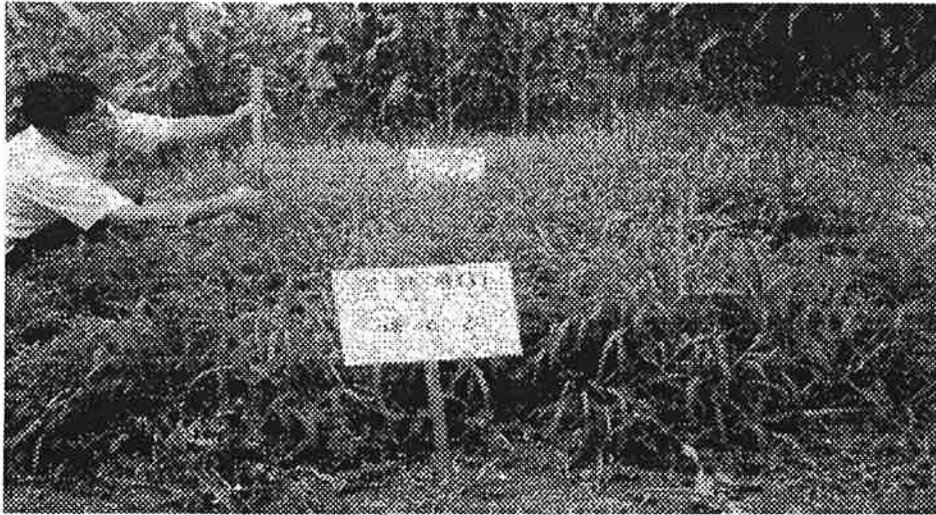
서 질소 (N)의 공급을 돕는 두과작물의 근류균에 대한 생존율을 증진시킨 결과로 사료되며, 또한 토양중 유기물의 분해에 필요한 미생물의 활동 증진 및 토양중 양분의 유효화에 대한 효과라고 사료된다.

이와 같은 현상은 석탄회를 가축분과 혼합하여 사료작물포의 퇴비로 사용함으로써 토양 유기물 함량의 증가 및 B와 Mg의 함량 증가로 유효인산 함량의 증가 및 토양 pH의 상승효과 및 미량광물질의 증가효과 등이 복합적으로 나타나는 결과로서 사료작물포의 퇴비공급원으로서는 석탄회가 매우 효과적이라는 것을 입증하는 결과라고 사료된다.

<표 27> 시용퇴비에 따른 알팔파 수확량 비교(kg)

구 분 \ 항 목	생초수량	건물수량	10a당 생초수량	10a당 건물수량	초장(cm)
대 조 구	5.05	0.852	1,514	225.5	62.7
톱밥 우분	5.68	0.965	1,703	289.5	70.1
톱밥 돈분	4.61	0.799	1,382	239.8	56.4
톱밥 계분	5.47	0.962	1,642	288.5	73.0
석탄회 우분	5.27	0.795	1,581	238.5	65.3
석탄회 돈분	6.27	1.000	1,881	300.0	73.0
석탄회 계분	7.70	1.209	2,310	362.8	73.9





<그림 30> 알팔파 재배 및 조사 모습



<그림 31> 알팔파 재배 및 조사 모습



<그림 32> 알팔파 재배 및 조사 모습



<그림 33> 알팔파 재배 및 조사 모습

라. 영양생산량

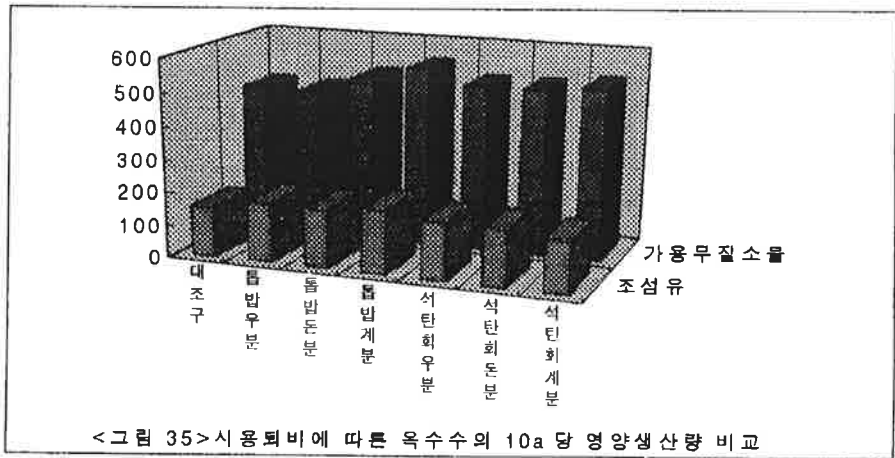
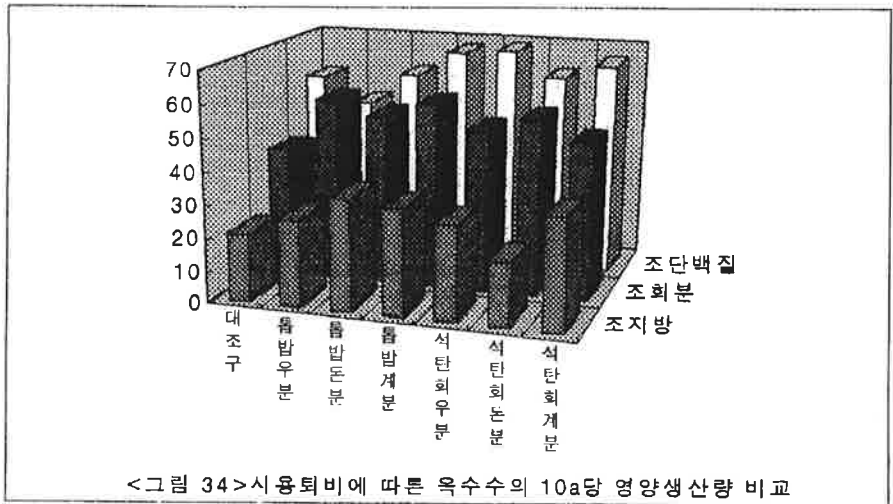
<표 28>은 톱밥과 우분, 돈분 및 계분을 혼합하여 만든 퇴비와 톱밥의 50%를 석탄회로 대체하고 우분, 돈분 및 계분과 혼합하여 만든 퇴비를 각각 사용한 토양에서 재배한 옥수수의 10a당 영양생산량을 조사 비교한 것이다.

옥수수의 조단백질 생산량을 보면 대조구는 57.12 kg 이지만 석탄회를 혼합한 축분퇴비구는 대조구보다 약 6~17%가 더 높았으며, 조지방, 조섬유 및 조회분 생산량은 일정한 경향이 없었으나 석탄회를 혼합한 퇴비를 사용한 구의 영양생산량이 차이를 보이지 않는다는 사실은 석탄회 활용에 대한 긍정적인 결과를 나타내는 것이다.

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

<표 28> 사용퇴비에 따른 옥수수의 10a당 영양생산량 비교(kg)

구 분 \ 항 목	조단백질	조지방	조섬유	조회분	가용무질소물
대 조 구	57.12	20.95	152.79	39.21	456.22
톱밥 우분	49.37	26.52	178.74	55.80	450.07
톱밥 돈분	59.36	34.13	179.39	51.76	500.76
톱밥 계분	67.25	32.20	195.41	56.25	542.59
석탄회 우분	68.42	28.87	175.19	49.20	500.52
석탄회 돈분	60.80	19.42	172.82	53.56	503.14
석탄회 계분	65.32	33.91	158.58	47.70	517.86



<표 29>는 톱밥과 우분, 돈분 및 계분을 혼합하여 만든 퇴비와 톱밥의 50%를 석탄회로 대체하고 우분, 돈분 및 계분과 혼합하여 만든 퇴비를 각각 시용한 토양에서 재배한 호맥의 10a당 영양생산량을 조사 비교한 것이다.

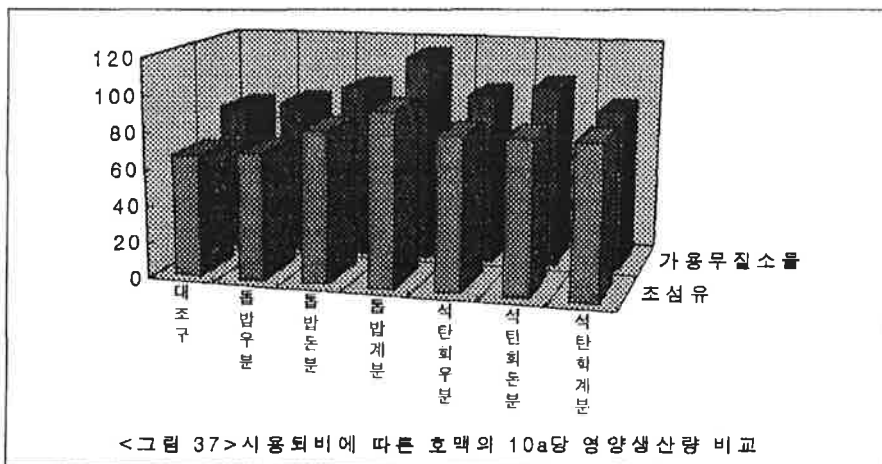
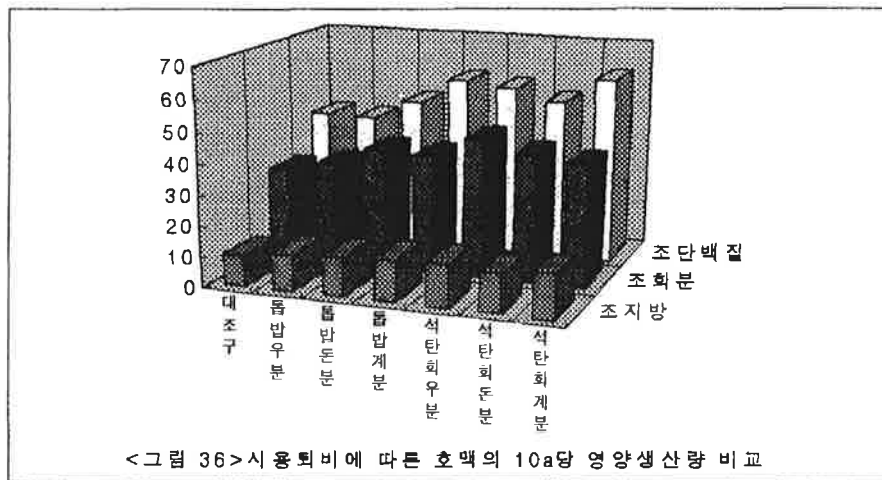
호맥의 조단백질 생산량은 석탄회 계분퇴비가 60.7 kg으로서 대조구의 43.3 kg에 비해 약 29%가 더 높아 가장 우수한 것으로 나타났으며, 석탄회를 혼합하지 않은 계분퇴비구 (57.7 kg) 또한 우수하게 나타나 호맥에 대한 퇴비로는 계분과 석탄회는 효과적임을 알 수 있고 석탄회 혼합은 상승효과가 있는 것을 알 수 있다.

한편, 조지방, 조섬유, 조회분 및 가용무질소물 생산량은 축분의 종류나 석탄회 혼합여부에 따른 일정한 경향을 나타내지 않았다.

그러나 호맥에 대해서도 석탄회를 혼합한 축분퇴비는 비료가치가 떨어지거나 부정적인 요인이 드러나지 않았기 때문에 석탄회는 가축분뇨처리 부자재로서 우수한 자원임을 알 수 있다.

<표 29> 시용퇴비에 따른 호맥의 10a 당 영양생산량 비교(kg)

구 분 \ 항 목	조단백질	조지방	조섬유	조회분	가용무질소물
대 조 구	43.32	10.15	66.45	30.28	81.99
톱밥 우분	43.18	11.93	69.28	33.61	85.40
톱밥 돈분	49.17	12.62	83.13	39.63	95.24
톱밥 계분	57.70	13.55	95.55	38.99	113.70
석탄회 우분	56.06	13.80	83.54	45.42	94.09
석탄회 돈분	52.29	12.60	83.92	41.65	100.02
석탄회 계분	60.72	14.37	83.70	39.82	87.59





<표 30>은 톱밥과 우분, 돈분 및 계분을 혼합하여 만든 퇴비와 톱밥의 50%를 석탄회로 대체하고 우분, 돈분 및 계분과 혼합하여 만든 퇴비를 각각 시용한 토양에서 재배한 알팔파의 10a 당 영양생산량을 조사 비교한 것이다.

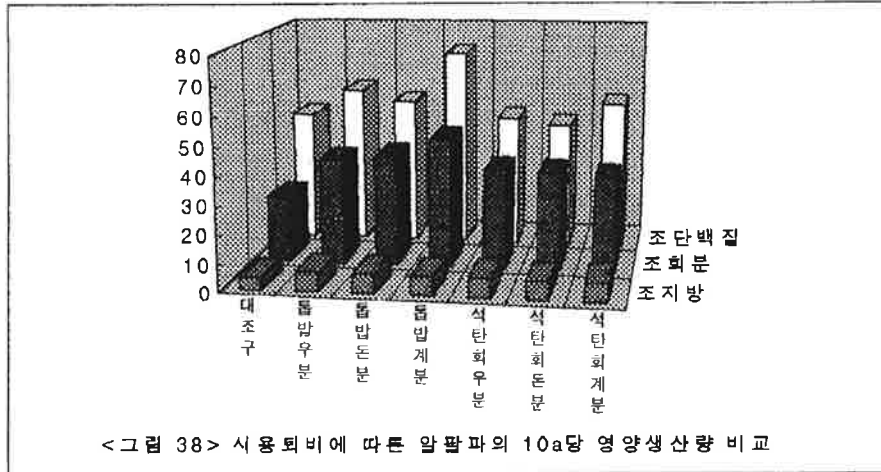
알팔파의 조단백질 생산량은 대조구의 47.58 kg에 비하여 톱밥계분퇴비를 시용한 구가 71.26 kg으로서 약 33%가 더 높았으며, 석탄회 혼합 여부에 따른 차이는 없었다.

조지방, 조섬유 및 조회분 생산량도 조단백질 생산량과 같은 경향으로서 축분의 종류나 석탄회 혼합 여부에 따른 차이는 없었으나 대조구에 비하여 약 34~49%가 더 높게 나타났다. 또한 가용무질소물 생산량 역시 톱밥계분시용구가 119.12 kg으로서 퇴비무시용구인 대조구의 78.87 kg에 비해 약 34%가 높게 나타났으며, 다른 영양생산량과 마찬가지로 축분의 종류나 석탄회 혼합 여부에 따른 뚜렷한 변화는 없었다.

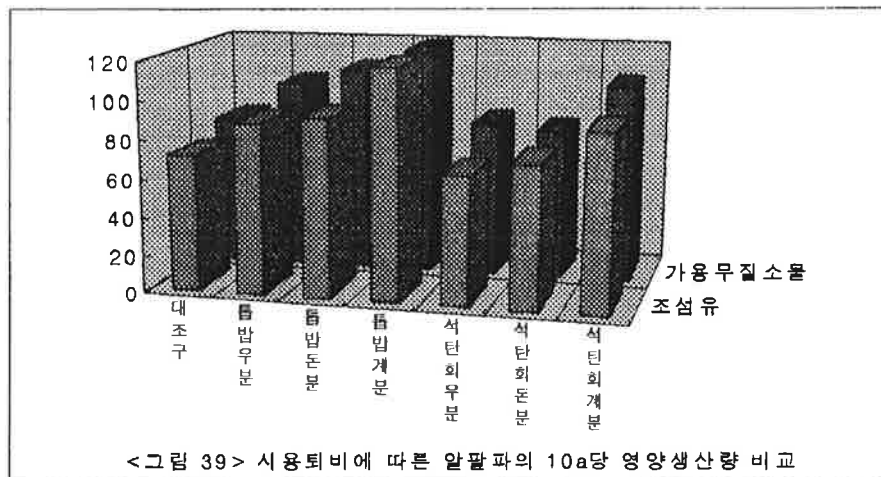
특히, 알팔파에 석탄회를 혼합한 축분퇴비는 가축분뇨처리를 위한 부자재로서 대표적인 톱밥을 혼합한 퇴비와 비교하여 비료가치면에서 손색이 없으므로 화분과 작물에 대한 효과 보다는 두과작물에 대한 석탄회의 시용효과가 크게 나타났다.

<표 30> 시용퇴비에 따른 알팔파의 10a 당 영양생산량 비교(kg)

구 분 \ 항 목	조단백질	조지방	조섬유	조회분	가용무질소물
대 조 구	47.58	4.35	71.20	23.56	78.87
톱밥 우분	57.12	6.98	88.83	37.74	98.83
톱밥 돈분	53.06	6.94	93.04	39.54	107.43
톱밥 계분	71.26	6.58	119.72	46.11	119.12
석탄회 우분	47.63	6.90	67.37	35.35	81.25
석탄회 돈분	45.31	6.62	74.48	35.14	78.25
석탄회 계분	53.52	6.71	91.80	33.67	102.79



<그림 38> 사용퇴비에 따른 알팔파의 10a당 영양생산량 비교



<그림 39> 사용퇴비에 따른 알팔파의 10a당 영양생산량 비교

따라서 우리나라와 같은 산성토양이 대부분인 사료작물포를 개량할 경우에는 퇴비로서 석탄회를 가축분과 혼합하여 사용하는 것이 토양개량 뿐만 아니라 특히, 조사료가 부족한 우리나라의 경우 석탄회의 퇴비사용시 그 중수 효과가 크기 때문에 석탄회를 퇴비로 사용하는 것은 사료작물의 양적, 질적인 면과 경제적인 면에서도 우수하다고 기대된다.

## 제 4장. 축산농가에 대한 현장 적응시험 효과

### 제 1절 서설

‘석탄회의 가축분뇨처리 부자재 대체이용에 관한 연구’ 3차년도에는 석탄회를 성형가공하여 지름 10~30 mm 크기의 구형으로 제조하여 기존의 가축분뇨처리 부자재 사용량의 50% 만큼을 대체 활용하므로써 축사바닥 깔짚 대체 효과와 축사내 악취저감 기술을 개발하고자 한다.

지난 ‘95년 10월 미국 Iowa 주립대학에서 열린 축산악취에 관한 국제심포지움에서 Bundy와 Green은 화력발전소와 시멘트 공장에서 발생하는 알칼리성 부산물이 양돈분뇨와 혼합하였을 때 악취저감 효과가 있었다고 보고한 바 있다.

따라서 석탄회의 가축분뇨처리 부자재 대체이용에 관한 연구 3차년도에는 석탄회를 낙농, 양돈 및 양계농가의 분뇨처리시설에 시범 적용하여 퇴비화 전과정과 기계장비의 운용체계를 확립하고 당초 연구개발 목표에는 포함되지 않았지만 돈사 및 우사내에 구형입자로 성형가공된 석탄회를 투입하여 부자재 대체 및 돈사 및 우사내에서 발생하는 분뇨의 효율적인 처리방안과 악취성분의 저감효과를 분석하고자 한다.

### 제 2절 연구방법

#### 1. 석탄회의 성형 및 강도 평가

석탄회의 다량 활용 및 취급을 용이하게 하기 위해서는 분말 상태인 석탄회를 가공, 성형하여 먼지를 줄이고 취급이 용이하도록 하는 것이 필요하다.

지난 1년차 연구개발 결과에서 제시한 성형기로 지름 10 ~ 30 mm의 구형 입자로 가공하기 위하여 결합제 성격의 Binder로 황토, 지오라이트, 석회석 및 석고를 혼합하여 강도와 경비를 검토하여 재료를 선택하여 Binder의 혼합량과 건조온도에 따른 경도차이를 비교하였다.

톱밥발효돈사 및 톱밥발효우상에 투입하는 톱밥을 대체하기 위한 성형 석탄회가 갖추어야 할 조건으로서 중요한 것이 취급이 용이하여야 하겠으며 먼지 발생의 최소화 및 수분흡수능력 즉 분뇨와 혼합될 때 수분조절재로서의 역할이 보장되어야 한다는 것이다.

따라서 성형 석탄회는 값이 싸야 하고, 적절한 수분흡수능력과 취급의 편리성을 보장받기 위한 강도가 확보되어야 한다는 전제조건을 충족할 수 있는 Binder와 혼합비율 및 건조온도라야 할 것이다.

- 적정 Binder 및 혼합비율
- 실온건조와 고온 건조시의 강도 비교

## 2. 성형 석탄회의 한우사 톱밥발효우상에 적용

기존 일반적인 한우사의 톱밥발효우상은 10 cm 두께로 톱밥을 깔고 한우를 수용하여 20여일간 사용한다.

기존 톱밥발효우상에 성형 석탄회를 톱밥의 50% 대체하여 투입하고 한우를 수용하여 수분함량의 변화, 비료성분, 발효우상 이용기간, 피모청결도 및 경제성을 분석하고자 한다. 계절에 따라 기상상태가 다르므로 이들의 차이를 검토하기 위하여 여름과 가을에 각각 한차례씩 조사 실시하였다.

## 3. 성형 석탄회의 톱밥발효돈사 적용

1차년도와 2차년도 본 연구개발 사업이 발생된 가축분뇨를 분뇨처리장으로 이송하여 분뇨와 톱밥 및 석탄회를 혼합하여 톱밥 대체효과 및 퇴비의 토

양 및 사료작물에 미치는 영향을 조사하였으나 3차년도인 당해연도에는 석탄회를 성형하여 직접 가축이 생활하는 바닥에 투입하여 톱밥 대체효과와 분뇨처리 부자재 가치를 분석하고자 하였다.

기존의 무배출 톱밥발효돈사에 사용하는 톱밥의 50%를 대체하여 성형 석탄회를 투입하여 소요 톱밥비용 절감효과, 악취저감 효과, 발효상 온도변화, 퇴비의 성분 및 바닥재로서의 이용기간을 비교 분석하고자 한다. 톱밥발효돈사 역시 여름과 가을에 각각 한차례씩 조사하였다.

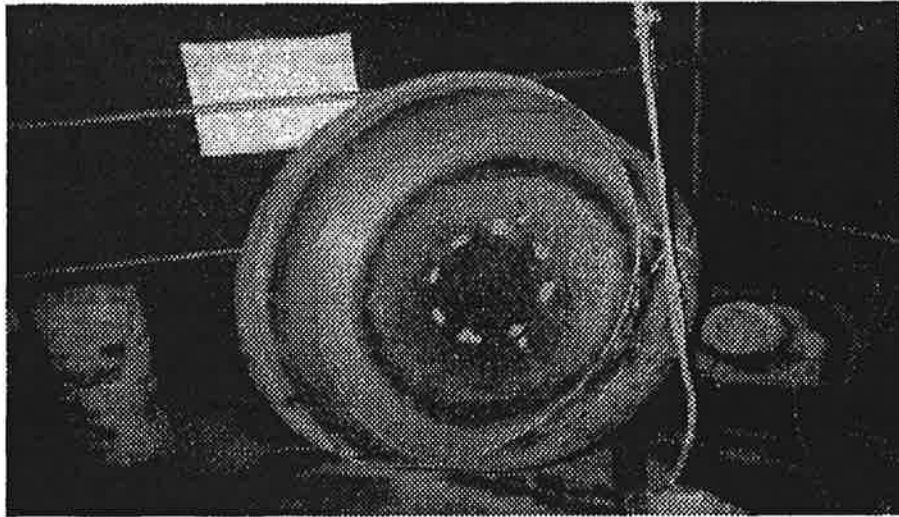
### 제 3절 연구결과

#### 1. 석탄회의 성형 및 강도평가

석탄회를 한우사와 돈사에 직접 적용하기 위해서 다루기가 편리한 형태로 만들기 위하여 미세한 분말 상태인 석탄회를 가공, 성형하는데 석탄회만으로는 응집력이 없으므로 성형이 불가능하기 때문에 황토, 석회석 등을 적당비율로 섞어 성형하고 또 축사에 넣었을 때 부자재로서의 효율이 높아야 하기 때문에 강도를 측정하였다.

석탄회의 성형을 위한 성형기는 본 연구개발사업 1차년도에 제작된 시제품을 사용하였으며, 입자의 크기는 10~30 mm로 하였다(그림 40 참조).

성형을 위한 결합제인 Binder는 쉽게 구할 수 있으며, 비용부담이 없어야 한다는 조건으로 황토, 지오라이트, 석회석 및 석고를 이용하여 비교하였다.



〈그림 40〉 석탄회 성형기

〈표 31〉은 원료인 석탄회를 Binder 없이 성형하였을 때의 강도를 나타낸 것이다.

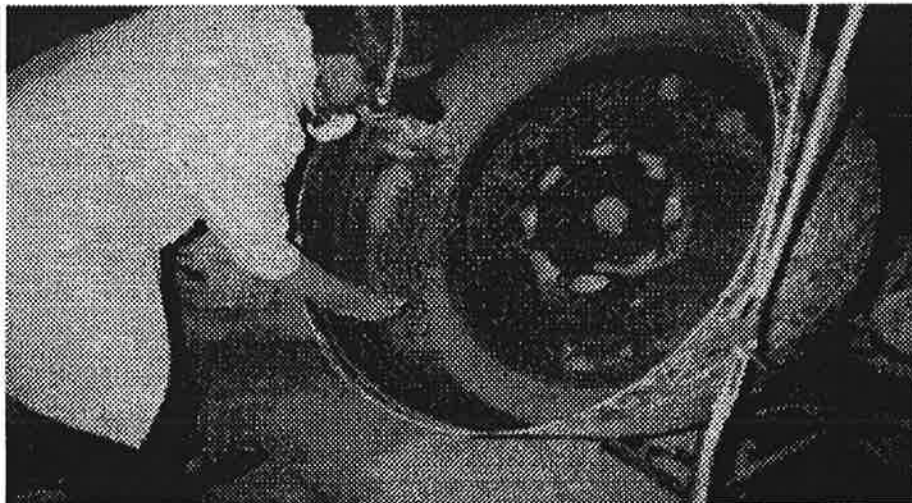
석탄회를 성형하는 방법이 원심력을 이용한 구형입자를 만드는 방식이기 때문에 입자가 클수록 파쇄강도가 높아짐을 알 수 있다.

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 이용 목적에 불합리 하였다. 이러한 결과는 석탄회를 성형가공한 후 고온에서보다 실온에서 건조시키는 것이 유리하다는 것을 입증하고 있다.

특히, 본연구진이 석탄회를 성형하는 과정에서 석탄회 자체만으로는 응집력이 약하기 때문에 Binder 없이는 성형에 어려움이 수반되어 실용화 하기에는 많은 문제점이 수반되었다. 따라서 석탄회를 성형가공할 경우에는 반드시 결합제인 Binder가 필요하다는 사실을 밝혔다.

<표 31> 성형 석탄회의 건조온도에 따른 파쇄강도

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



<그림 41> 석탄회의 성형과정

석탄회를 성형할 경우 원가가 저렴하면서 취급이 용이하고 손쉽게 성형할 수 있는 방법을 밝히기 위하여 실제 농가에서 사용하기에 편리한 규격의 크기 (10, 20 및 30 mm)로 하고, Binder로서는 황토, 지오라이트, 석회석·및 석고를 혼합한 성형석탄회의 파쇄강도를 측정한 결과를 <표 32, 33, 34, 35>에 나타내었다.

<표 32>는 Binder로 황토를 이용할 경우 성형 석탄회의 혼합비율, 입자크기 및 건조온도에 따른 파쇄강도를 나타내고 있다.

황토 10%와 15% 혼합시 입자크기가 증가될수록 파쇄강도는 강하게 나타났으며 특히, 30 mm로 성형가공한 석탄회를 실온에서 건조시킬 경우 파쇄강도는 각각 5.33과 6.12로서 건조온도가 실온 이상으로 높을 경우보다 파쇄강도가 강하게 나타났다.

또한 황토의 혼합비율이 증가될 경우 파쇄강도 역시 증가되는 경향이지만 황토혼합 비율이 15% 이상에서는 경제적인 측면과 이용목적에도 불합리하다는 사실도 입증하였다.

<표 32> 황토 혼합 성형 석탄회의 혼합비율, 입자크기 및 건조온도에 따른 파쇄강도

혼합비율, 건조온도 (°C)		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

<표 33>은 Binder로 지오라이트를 이용할 경우 성형 석탄회의 혼합비율, 입자크기 및 건조온도에 따른 파쇄강도를 나타내고 있다.

지오라이트 역시 황토와 마찬가지로 10%와 15% 혼합시 입자크기가 증가될수록 파쇄강도는 강하게 나타났으며 특히, 입자크기를 30 mm로 하여 성형가공한 석탄회를 실온에서 건조시킬 경우 파쇄강도는 각각 9.16과 6.63으로서



건조온도가 실온 이상으로 높을 경우보다 파쇄강도가 강하게 나타났다. 그러나 지오라이트로 혼합성형 할 경우에는 황토로 성형 할 때보다 파쇄강도가 강하였으며 특히, 지오라이트를 10% 혼합 할 경우에는 파쇄강도가 9.16으로서 황토보다도 약 42%의 강도가 증가되었다.

〈표 33〉 지오라이트 혼합 성형 석탄회의 혼합비율, 입자크기 및 건조온도에 따른 파쇄강도

혼합비율, 건조온도 (°C)		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

〈표 34〉는 Binder로서 석회석을 이용할 경우 성형 석탄회의 혼합비율, 입자크기 및 건조온도에 따른 파쇄강도를 나타내고 있다.

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

<표 34> 석회석 혼합 성형 석탄회의 혼합비율, 입자크기 및 건조온도에 따른 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

<표 35>는 Binder로 석고를 이용할 경우 성형 석탄회의 혼합비율, 입자크기 및 건조온도에 따른 파쇄강도를 나타내고 있다.

석고 역시 지오라이트와 마찬가지로 5%, 10% 및 15% 혼합시 입자크기가 증가될수록 파쇄강도는 강하게 나타났으며 특히, 입자크기를 30 mm로 하여 성형가공한 석탄회를 실온과 60 °C에서 건조시킬 경우 파쇄강도는 각각 6.64와 12.0, 42.9와 49.1 및 41.4와 60.0으로서 건조온도를 60 °C 까지 높일 경우 파쇄강도가 증가되었다.

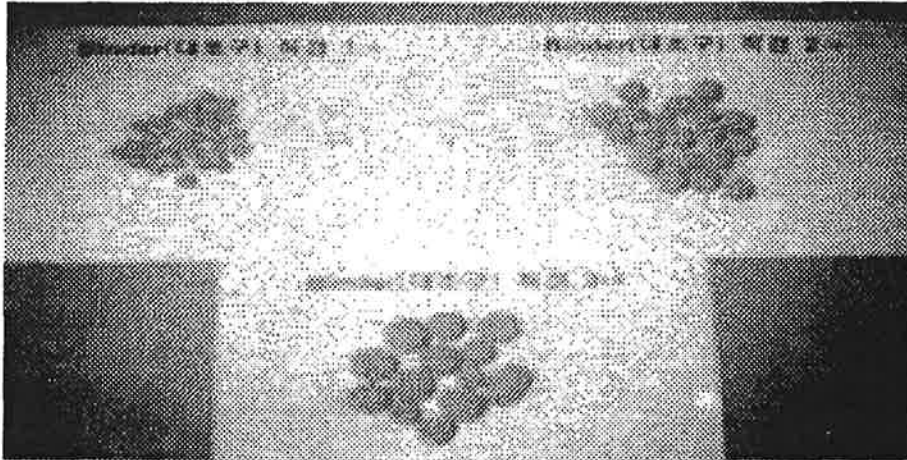
특히, 석고를 15% 혼합하고 입자크기를 30 mm로 하여 성형가공 할 경우 황토, 지오라이트 및 석회석으로 성형 할 때보다 파쇄강도 (60.0)가 강하였으며 이 정도의 강도로는 축사짚짚으로 활용하기에는 부정당 하였다.

그러나 본연구에서는 성형 석탄회의 비용, 수분흡수능력, 미량광물질 공급능력 및 취급의 편리성을 감안하여 황토를 Binder로 이용하였으며, 연구결과에 기인하여 입자크기를 30 mm, 혼합비율을 15%로 하여 성형가공한 석탄회를 실온에서 건조시킨 후 측사에 투입하였다.

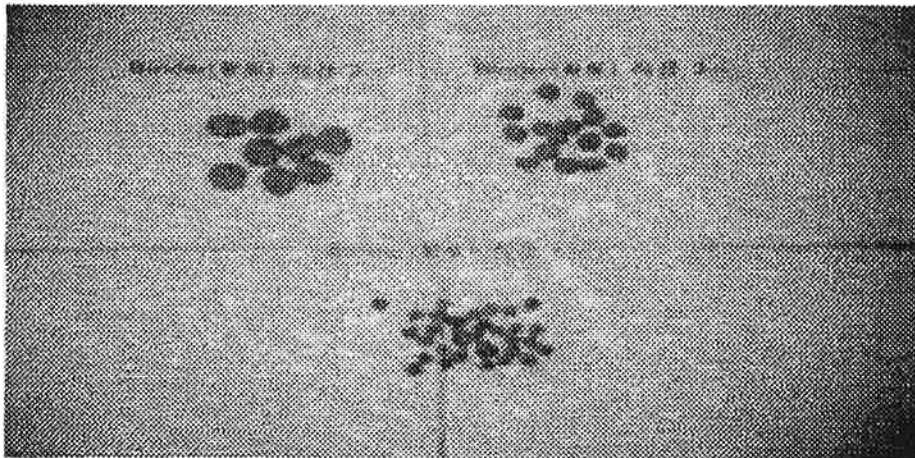
<표 35> 석고 혼합 성형 석탄회의 혼합비율, 입자크기 및 건조온도에 따른 파쇄강도

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

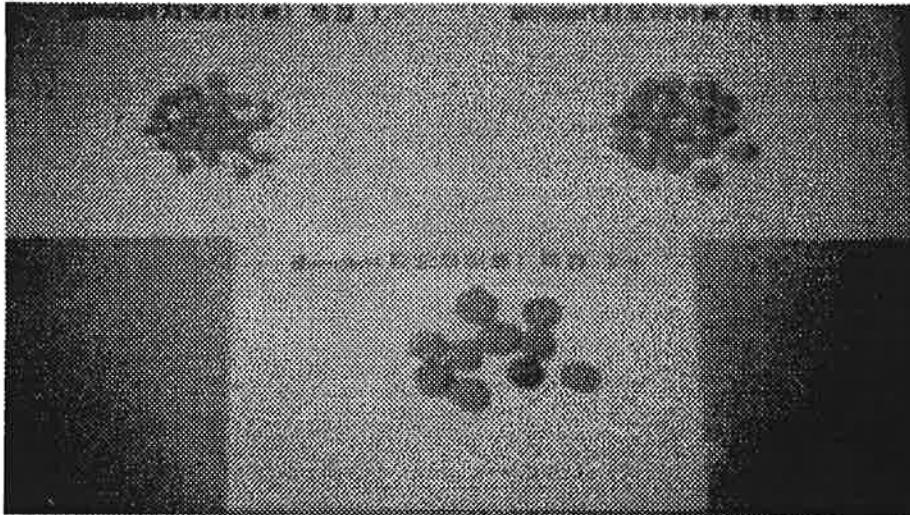
<그림 42~46>에서는 Binder의 종류와 입자크기에 따른 성형석탄회의 모양을 나타내었다.



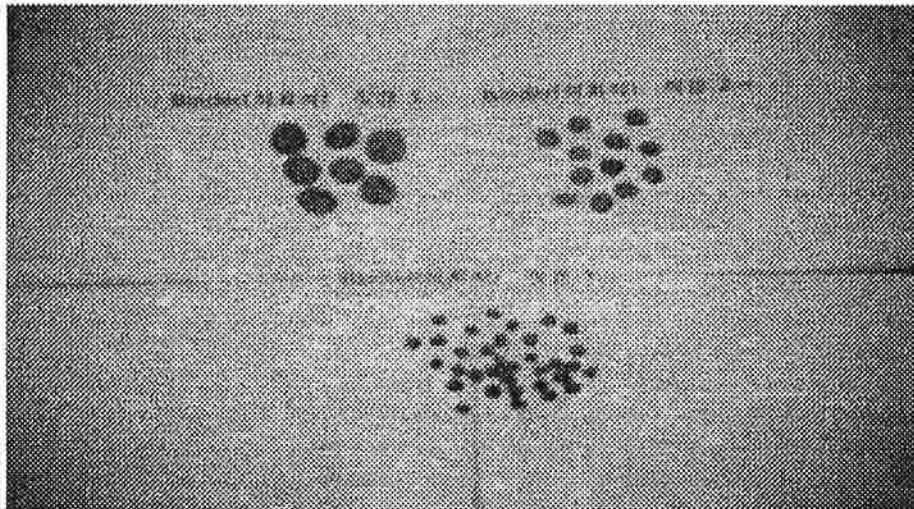
<그림 42> 입자크기별 성형 석탄회



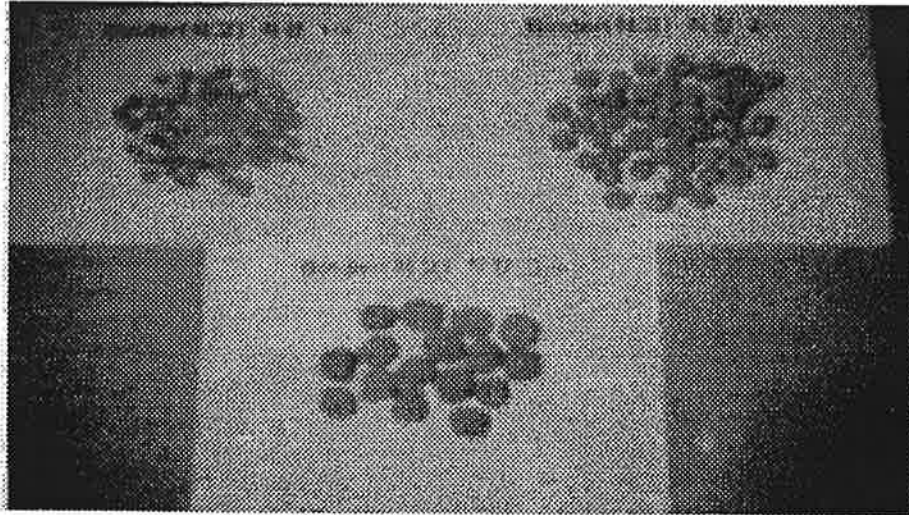
<그림 43> 황토 혼합 성형 석탄회



<그림 44> 지오라이트 혼합 성형 석탄회



<그림 45> 석회석 혼합 성형 석탄회



<그림 46> 석고 혼합 성형 석탄회

## 2. 성형 석탄회의 한우사 톱밥발효우상 적용

비육전기의 한우사를 대상으로 하여 톱밥을 깔깃으로 이용하고 있는 우군 (대조구)과 기존 한우사의 깔짚재인 톱밥의 50%를 황토 15%와 혼합한 성형 석탄회로 대체하여 톱밥질감 효과, 수분조절 효과 및 경제성 등을 분석하였으며 한우사에 적용을 위한 구체적인 내용은 다음과 같다.

가 시험장소 : 경남 산청군 신등면 소재 한우 비육농가 (울림농장), 규모 60 두, 우상크기 11 × 8 m

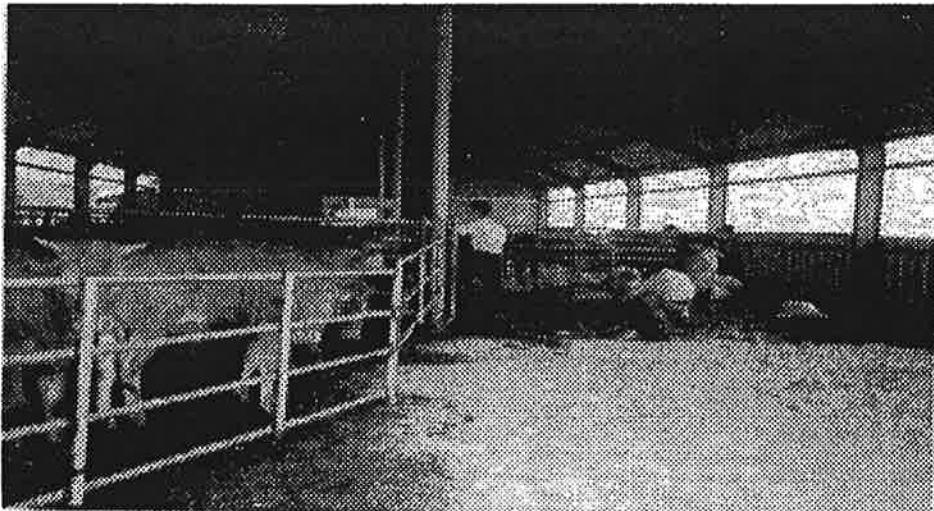
### 나 조사항목 및 방법

- 수분함량 : 5일 간격, 오전 10시경에 sample 채취, 비닐백에 밀봉, 건조 후 수분측정
- Gas 발생량 조사 : NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S 측정하기 위하여 Triple Plus Charging Unit를 이용하여 우사 바닥에서 10 cm 높이, 임의로 6곳을 선정하여 측정

- 온도 측정 : 우사 및 외부온도를 측정하기 위하여 온도계를 이용하여 우사 바닥의 깔짚에 약 7 cm 깊이, 임의로 6곳을 선정하여 측정하였다.
- 이용기간 : 우체 청결도를 기준으로 시험축의 위 넓적다리에 물기가 축축하게 묻어 있는 시기까지의 이용기간 비교

#### 다. 수행내용

<그림 47>은 한우사의 시험 전 내부 모습으로서 우상의 면적을 11 X 8 m로 하여 쇠파이프로서 칸막이를 하였다. 각 구당 10두씩 배치하였으며, 여름과 가을에 걸쳐 2회 실시하였으며 사료급여 체계 및 기타 사양관리는 본 농장의 일반관리에 준하였다.



<그림 47> 시험 장소인 한우사의 내부

<그림 48>은 한우사 바닥에 톱밥과 성형 석탄회를 50%씩 혼합하여 10 cm 두께로 깔아주는 장면으로서 성형 석탄회가 톱밥과 골고루 혼합되도록 삽과 갈고리를 이용하여 뒤집으면서 잘 혼합하였다.





<그림 48> 한우사 바닥에 성형 석탄회와 톱밥을 혼합 투입하는 장면

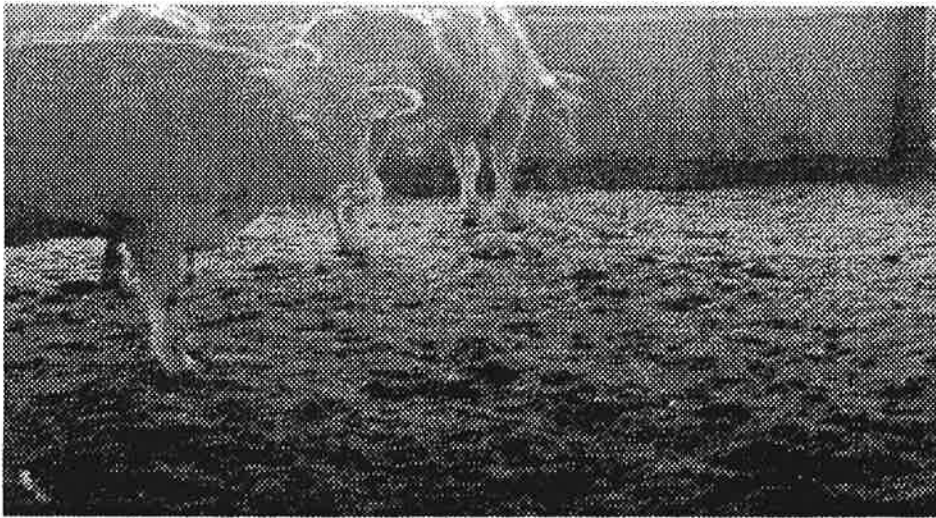
<그림 49>는 한우사의 깔것으로 톱밥만을 투입한 대조구와 성형 석탄회를 톱밥과 같은 비율로 혼합하여 투입한 구를 비교한 장면이다.



<그림 49> 톱밥만을 투입한 대조구와 성형 석탄회를 투입한 구의 비교 모습



<그림 50, 51>은 대조구 및 성형 석탄회를 투입한 후 5일 후의 우상 바닥 모습으로서 피모 청결도는 매우 양호하였으며, 두 구간에는 뚜렷한 차이는 나타나지 않았다.



<그림 50> 톱밥만을 투입한 대조구의 5일 후의 우상 바닥 모습



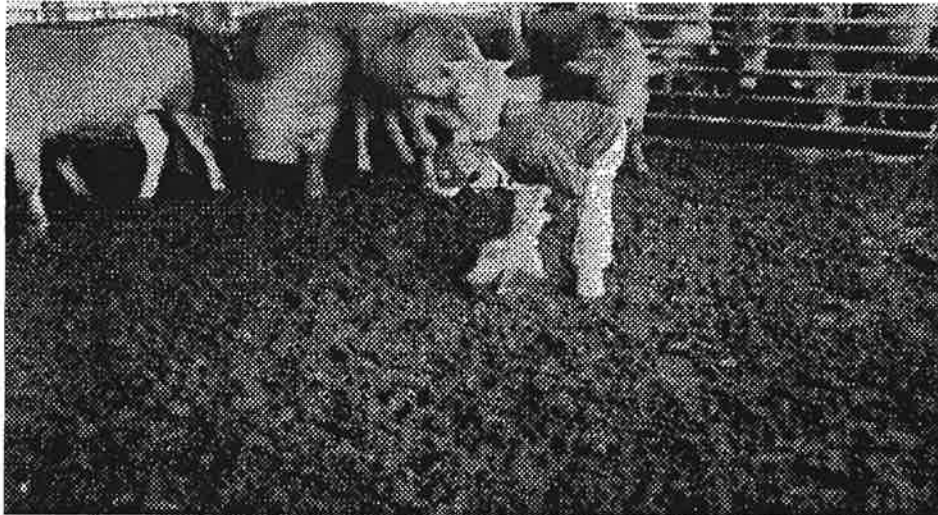
<그림 51> 성형 석탄회를 투입한 5일 후의 우상 바닥 모습

<그림 52, 53>은 성형 석탄회와 톱밥을 혼합 투입하여 15일이 경과한 한우사 톱밥발효우상 바닥 모습을 나타낸 것으로 석탄회의 혼합으로 회색빛이 많은 것을 알 수 있다. 한편, 우상 바닥 깔짚 투여 15일 후에는 깔짚의 응결이 매우 진행된 상태였으며 특히, 성형 석탄회 투입구에서 한우의 피모에 응결된 바닥 깔짚이 묻어 피모 청결도는 약간 불결한 상태였으며, 대조구에 비하여 깔짚의 이용기간이 약 5일 정도 단축되는 것으로 나타났다.

이와 같은 현상은 우상 바닥 깔짚의 수분함량이 대조구와 성형 석탄회 투입구에서 깔짚 투입 후 10일 후에 각각 45.3%와 51.6% 이었으며, 깔짚 투입 후 15일 후에는 수분함량이 모두 60.6%에 도달한 결과로서 깔짚 투입 후 10일 이후의 수분함량이 성형 석탄회 투입구에서 크게 증가된 것과 관련이 있을 것으로 사료된다.



<그림 52> 톱밥만을 투입한 대조구의 15일 후의 우상 바닥 모습



〈그림 53〉 성형 석탄회를 투입한 15일 후의 우상 바닥 모습

이와 같은 결과로 미루어 볼 때 한우사의 경우에는 깔깃으로 성형 석탄회의 투입은 경제적으로 불리하다고 생각되지만, 석탄회의 수분함유 능력에 대한 특성을 고려할 때 깔깃의 두께를 현재의 10 cm 보다는 다소 높은 약 15~20 cm로 유지시킬 경우에는 상당한 효과가 기대될 것으로 사료된다. 특히, 시험당시에 태풍으로 인하여 빗물이 우상으로 들어가게 되어 실험상 약간의 문제가 있었다.

따라서 한우사에 대한 깔깃의 이용기간에 대한 실험을 수행할 경우에는 깔깃의 높이를 다양하게 하여 반복시험을 수행 할 필요가 있을 것으로 간주된다.

〈표 36〉은 한우사의 깔깃으로 톱밥만을 투입한 대조구와 성형 석탄회를 톱밥과 같은 비율로 혼합하여 투입한 구의 깔깃의 수분함량, 온도변화 및 gas 발생량의 변화를 조사한 결과이다.

수분함량은 깔깃 투입 직전의 대조구는 23.4%로서 톱밥 자체의 수분함량을 나타내고 있으며, 석탄회는 성형가공할 경우에는 수분함량이 14.7%로 감소하였으며, 깔깃 투입 10일 후에는 대조구 (45.3%)에 비하여 성형가공한 구에서 51.6%로 높게 나타났다. 깔깃 투입 15일 후에는 수분함량이 두 개의 모든 구에서 60.6%로 나타났다. 이와 같은 결과는 한우사의 경우 깔깃 투입 10일 이후에는 석탄회를 성형가공하여 투입할 경우 수분함량이 50% 이상으로서 깔깃으로의 효과가 나타나지 않는 것으로 사료되나, 이것은 한우 두수에 비하여 깔깃의 투입량이 적고 또 태풍에 의한 빗물의 유입에 그 원인이 큰 것으로 인정된다.

온도변화에 있어서는 대체적으로 외기온도 보다도 낮아 발효가 지연되고 있음을 보여주는 결과로서 이는 깔깃의 수분함량이 높은 결과에 기인하는 것으로 생각된다.

한편, gas 발생량의 전체적인 경향은 석탄회 투입구가 대조구에 비하여 약 2 ppm 낮게 나타나고 있다.

NH<sub>3</sub>는 자극성이 매우 강하기 때문에 5 ppm 이하의 낮은 수준에서도 검출되며, 6~20 ppm의 NH<sub>3</sub>가 발생될 경우 사람의 눈에 자극을 주고 호흡에 문제가 나타나며, 가축의 경우에는 50 ppm일 때 생산능력이 감소되며 건강에 큰 피해를 유발시키는 동시에 계속적으로 노출될 경우 폐렴의 가능성이 증가된다고 (Barker, 1993) 하였는데 석탄회의 가스제거효과가 크게 인정되었다.

또한, Barker (1993)는 H<sub>2</sub>S의 경우 돈분이 분해될 때 다량 발생되며, 유독성이 매우 강하기 때문에 6 ppm 이상에서는 유독가스의 냄새가 직선적으로 증가되며, 10 ppm에서는 눈에 자극을 주고, 20~50 ppm에서는 눈, 코 및 목 구멍에 심한 자극을 준다고 하였다. 그리고 가축의 경우에는 20 ppm의 H<sub>2</sub>S 가스 발생시 약한 공포를 느끼며 식욕감소 및 신경과민 현상이 일어난다고 하였다.

그러나 본 연구에서는 대조구에서 깔짚 투여 5일 후에 NH<sub>3</sub>는 약 6 ppm, H<sub>2</sub>S는 깔짚 투여 15일 후에 약 5 ppm이 생성되었다. 이와 같은 결과에서 한 우사는 개방식 축사의 구조를 하고 있기 때문에 유독 가스에 대한 피해는 거의 없는 것으로 사료된다.

<표 36> 한우사에 대한 성형 석탄회의 투입에 따른 깔짚의 수분함량, 온도 변화 및 gas 발생량 변화

구		분	0 일	5 일	10 일	15 일
수 분 함 량 (%)	톱밥처리구		23.4	36.2	45.3	60.6
	석탄회혼합구		14.7	36.4	51.6	60.6
온 도 (°C)	톱밥처리구		28.5	29.8	26.8	23.4
	석탄회혼합구		28.6	27.0	25.2	23.0
외 기 온 도 (°C)			28.4	31.0	28.0	23.0
Gas <sup>1</sup> (ppm)	대조구	NH <sub>3</sub>	2	6	5	4
		H <sub>2</sub> S	ns <sup>2</sup>	ns	2	5
	성형 가공구	NH <sub>3</sub>	2	4	3	3
		H <sub>2</sub> S	ns	ns	1	3

<sup>1)</sup> CH<sub>4</sub>와 CO gas는 측정되지 않았음. <sup>2)</sup> ns : 미량으로서 측정되지 않았음.

### 3. 성형 석탄회의 톱밥발효돈사 적용

톱밥발효돈사는 양돈농가 입장에서 보면 무배출 분뇨처리 시설이기 때문에 분뇨처리 및 공해문제로 선호도가 높은 돈사형태이다. 그러나 톱밥구입이 어렵고 가격이 높아져 톱밥발효돈사를 다른형태 즉, 스크레퍼 혹은 슬러리 방식의 돈사로 전환하는 경우가 많다.

톱밥발효돈사는 돈사바닥에 배설되는 분뇨를 흡수할 수 있는 충분한 량의 톱밥을 저렴한 가격으로 확보할 수 있다면 매우 우수한 돈사 및 무배출 분뇨 처리 방법이라 할 수 있다.

톱밥발효돈사에 사용되는 톱밥의 절반을 황토를 15% 혼합한 성형 석탄회로 대체하여 톱밥절감 효과, 수분조절, 악취저감 효과, 이용기간 연장 및 경비절감 효과를 분석하고자 하였는데 구체적인 내용은 다음과 같다.

가. 시험장소 : 경남 고성군 개천면 소재 2,000두 규모의 양돈농가 (한성농장)

나. 조사항목 및 방법

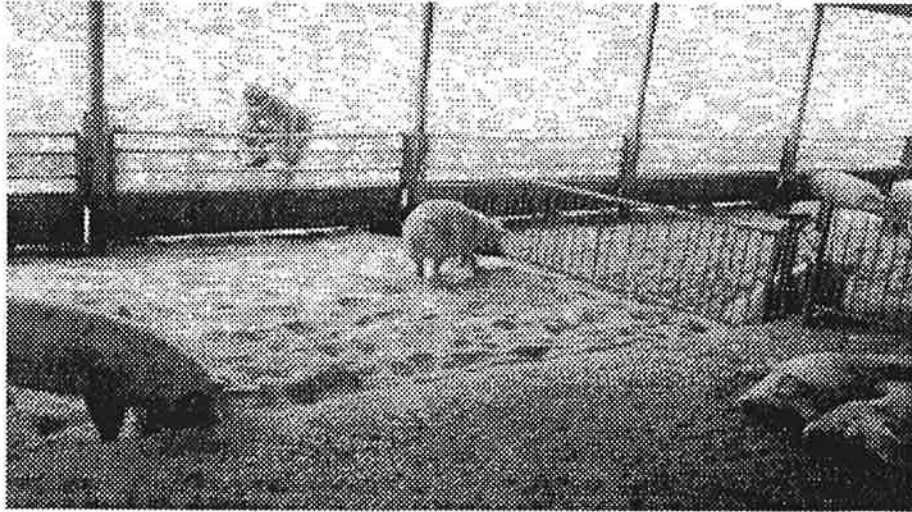
- 수분함량 : 5일 간격으로 오전 10시에 sample 채취, 비닐백에 밀봉, 수분 측정
- Gas 발생량 조사 : NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S 측정 (Triple Plus Charging Unit를 이용하여 돈사 바닥에서 10 cm 높이, 임의로 6곳을 선정하여 측정하였다.)
- 온도 측정 : 돈사내 온도 및 외기온도 측정 (온도계를 이용하여 돈사 바닥의 깔짚에 약 25 cm 두께의 톱밥발효상 내부의 온도를 막대 온도계를 이용하여 임의로 6곳을 선정한 후 측정하였다.)
- 이용기간 : 톱밥발효상이 완전 곤죽 상태가 되어 돼지의 뒷다리 머느리 발톱 부분까지 빠져 불결하고 거동이 불편하기 시작할 시점 기준
- 경제성 : 제경비의 비교

다. 수행방법

<그림 54>는 돈사의 톱밥 투입 전 내부 모습을 나타낸 것이다.

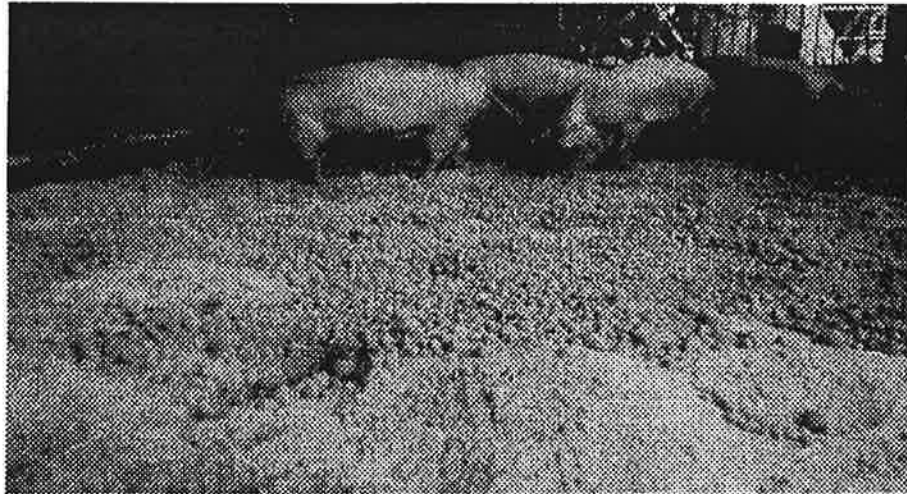
본시험에 이용된 돈방은 시험개시 2일 전 많은 비가 내려 돈방과 돼지의 피모상태는 불량한 편이었다.

돈방의 면적은 5 X 6.5 m로서 운동장은 전체 돈방면적의 60%를 차지하고 있다. 각 구당 13두씩 배치하였으며, 여름과 가을에 걸쳐 2회 실시하였으며 사료급여 체계 및 기타 사양관리는 본 농장의 일반관리에 준하였다.



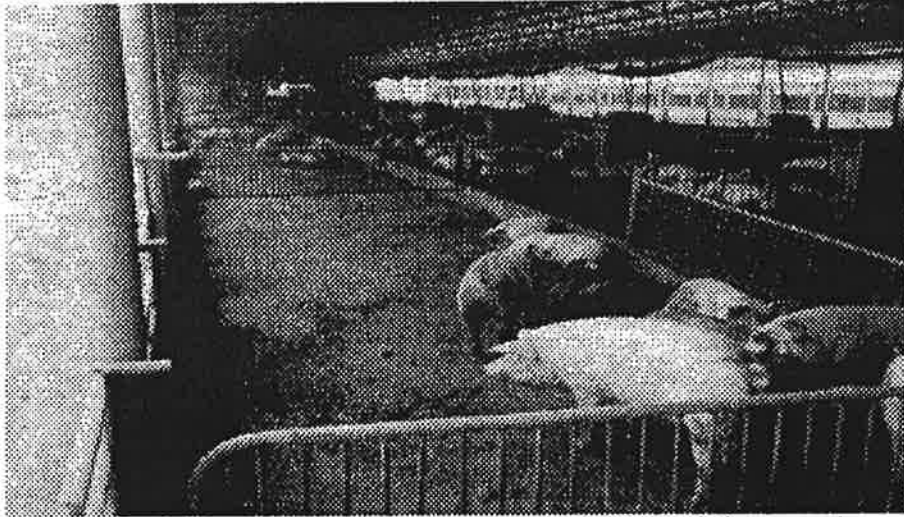
<그림 54> 시험 장소인 돈사의 내부

<그림 55>는 돈사 바닥에 톱밥과 성형 석탄회를 50%씩 혼합하여 25 cm 두께로 깔기를 투입하는 과정으로서 성형 석탄회가 톱밥과 골고루 혼합되도록 삽과 갈고리를 이용하여 뒤집으면서 잘 혼합하였다.



<그림 55> 성형시킨 석탄회의 투입과정

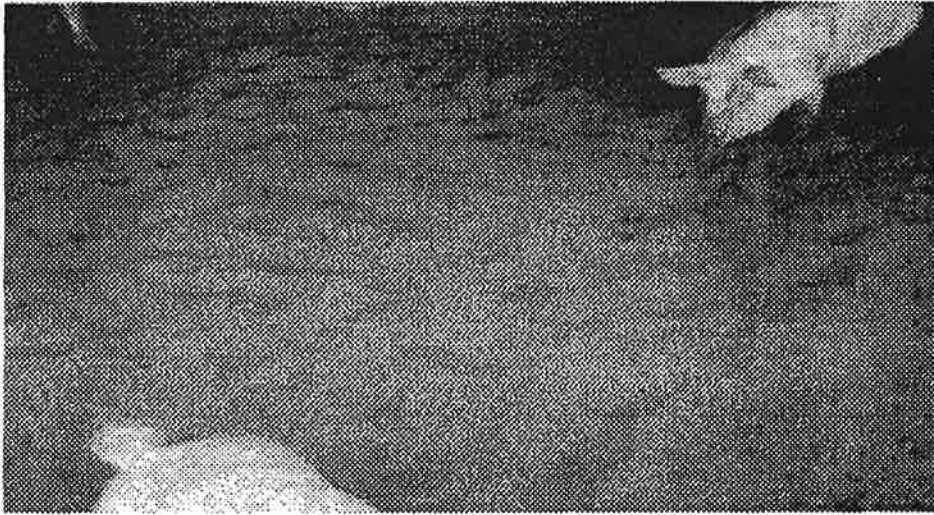
<그림 56>은 돈사의 깔깃으로 톱밥만을 투입한 대조구와 성형 석탄회를 톱밥과 같은 비율로 혼합하여 투입한 구를 비교한 장면이다.



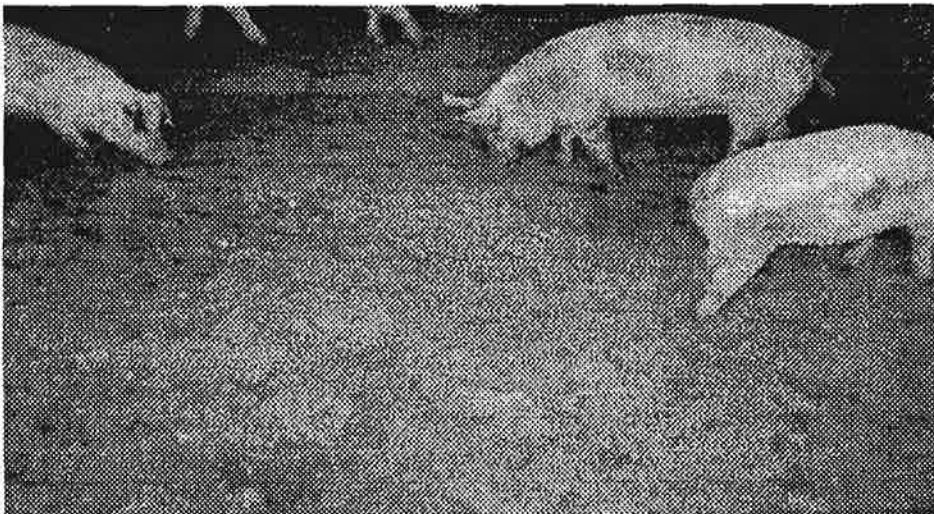
<그림 56> 톱밥만을 투입한 대조구와 성형 석탄회를 투입한 구의 비교 모습

<그림 57, 58>은 대조구 및 성형 석탄회를 투입한 후 5일 후의 돈사 바닥 모습으로서 톱밥만을 투입한 대조구의 피모 청결도는 시험개시전과 같은 상태였으나 성형 석탄회를 톱밥과 같은 비율로 혼합하여 투입한 구의 돼지의 피모에는 석탄회의 분진이 일부 묻어 피모 청결도는 약간 불량한 편이었다. 그러나 이들 분진으로 인한 호흡기 질환에 대한 우려가 시험개시시에는 있었으나 이러한 문제점은 발생되지 않았다.





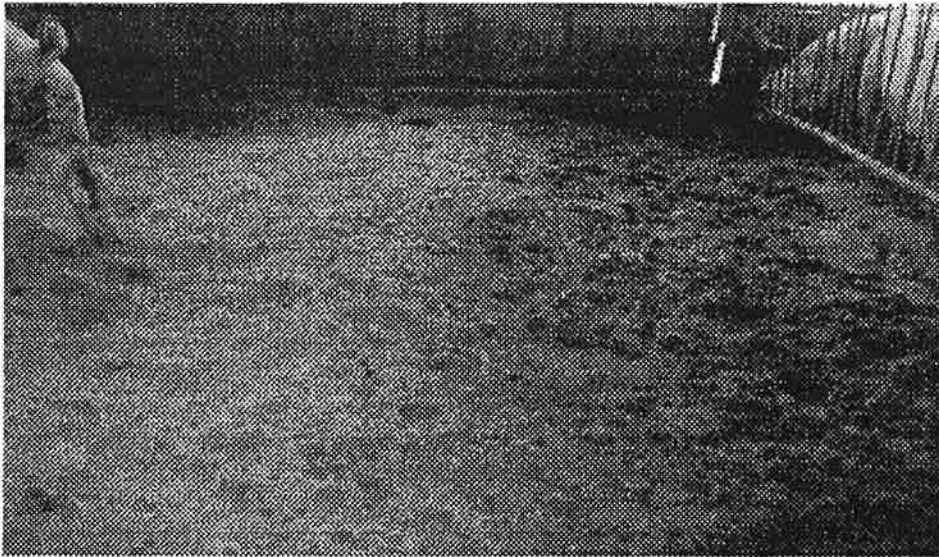
<그림 57> 톱밥만을 투입한 대조구의 5일 후의 돈사 모습



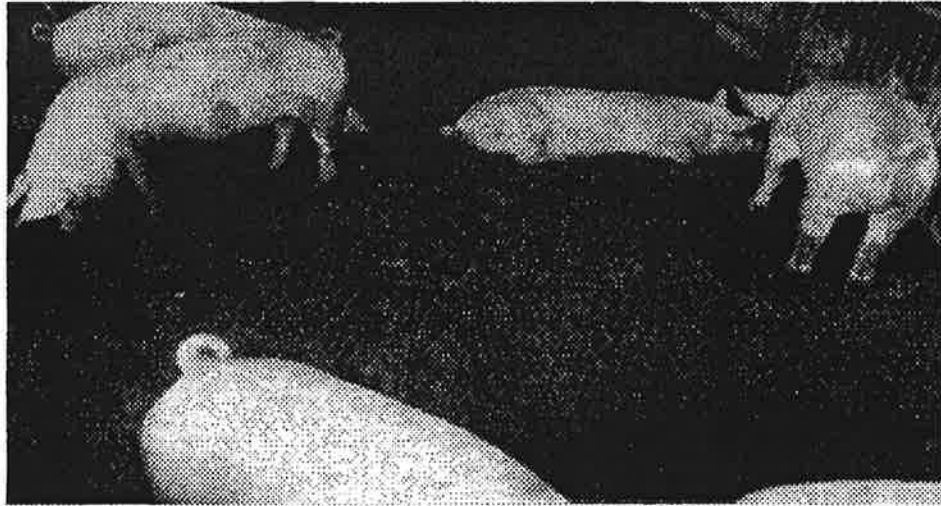
<그림 58> 성형 석탄회를 투입한 5일 후의 돈사 모습

<그림 59, 60>은 성형 석탄회와 톱밥을 혼합 투입하여 15일이 경과한 돈사 바닥 모습을 나타낸 것이다. 톱밥만을 투입한 구의 노배설 장소에서는 그림에서 보바와 같이 톱밥발효상이 완전 곤죽상태로 돼지의 뒷다리 며느리 발톱 부분까지 빠져 거동이 불편하였으며 노배설 장소 이외의 다른 부분에서도 톱밥발효상의 곤죽상태가 많이 진행되어 깔깃을 교체해야만 될 상태였다. 특히, 톱밥발효상의 곤죽상태로 돼지의 피모는 배 부분까지 매우 불량하였다.

그러나 톱밥에 성형석탄회를 50% 혼합 투입한 구에서는 노배설 장소에서만 깔깃 투입 10일째와 비슷한 응결 상태를 유지하고 있었으며, 다른 부분은 매우 양호한 편이었다.



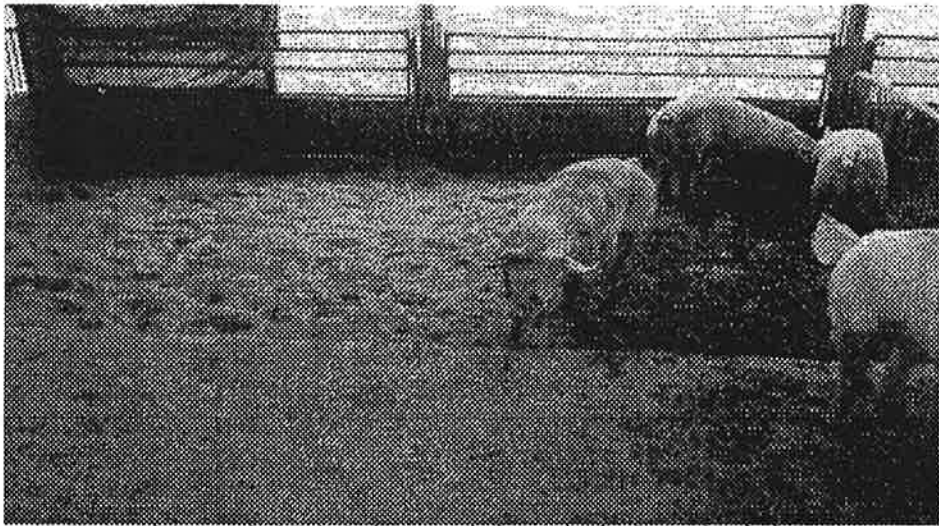
<그림 59> 톱밥만을 투입한 대조구의 15일 후의 돈사 바닥 모습



〈그림 60〉 성형 석탄회를 투입한 15일 후의 돈사 바닥 모습

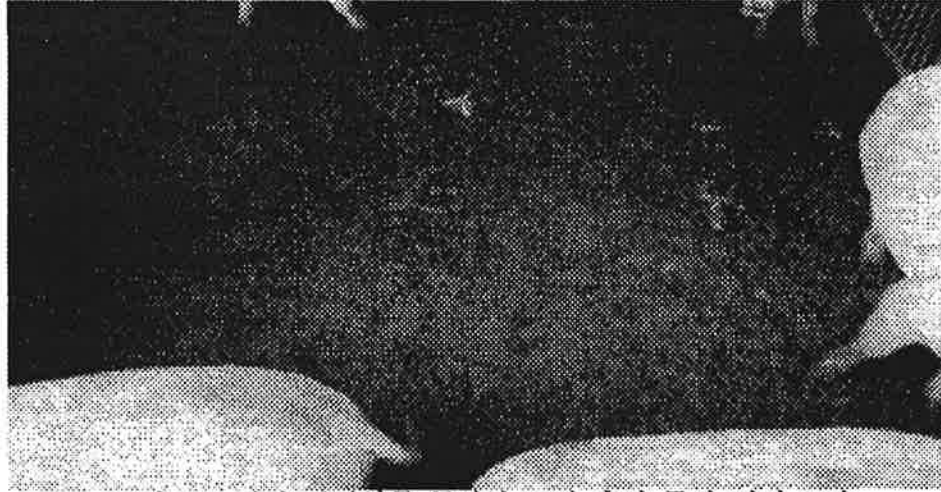
이와 같은 결과로 볼 때 현재 돈사의 깔것으로 많이 이용하고 있는 톱밥만을 이용하는 톱밥발효돈사는 깔것의 교체시기를 15일 간격으로 유지하는 것이 좋을 것으로 사료된다. 그러나 톱밥에 성형 석탄회를 혼합하여 투입한 구에서는 깔것 투입 15일 후에도 깔것의 상태가 아주 양호하였으며, 돼지의 피모 청결도나 건강상태가 좋아 계속적으로 관찰할 필요성을 가지게 되었다.

〈그림 61〉은 성형 석탄회를 투입한 30일 후의 돈사 내부 모습으로서 깔것 투입 15일째와 모든 상황이 비슷하게 나타났다. 시험개시시에 육안으로 본 건강상태가 약간 좋지 못한 돼지가 2~3두 있었으나 성형 석탄회 투입 30일 후에는 돼지의 건강상태가 개선되고 있었으며, 전체적인 건강상태도 톱밥처리구와 비교해 볼 때 양호하게 나타났다. 특히, 본 시험을 수행하면서 계속 지켜 본 농장주 (한호석님)는 시험 개시시 성형 석탄회의 분진으로 돼지의 호흡기 질병을 염려하면서도 본 시험을 수행하였으나 지금은 오히려 성형 석탄회의 깔것 이용에 대해서 지대한 관심을 보이기 시작하여 모든 돈방에 석탄회처리를 원하고 있다.



<그림 61> 성형 석탄회를 투입한 30일 후의 돈사 바닥 모습

<그림 62>는 성형 석탄회를 투입한 60일 후의 돈사 내부모습으로서 톱밥  
 만을 투입한 대조구의 깔깃 상태로 미루어 볼 때 대조구 깔깃 투입 10~12일  
 째와 비슷한 상태였다. 한편, 돼지의 건강상태도 성형 석탄회 투입 30일 후  
 보다도 개선되었으며 특히, 농장주는 ① 깔깃 교체시기 연장, ② 냄새 발생  
 억제, ③ 호흡기 질병 예방, ④ 설사 방지, ⑤ 소화율 증가, ⑥ 성장을 향  
 상, ⑦ 구더기 발생 억제, ⑧ 노동력 절감 등의 많은 효과가 있어 농장주의  
 관심은 더욱 더 높아 전체 돈방에 석탄회를 깔깃으로 교체해 줄 것을 요구하  
 기도 하였다.



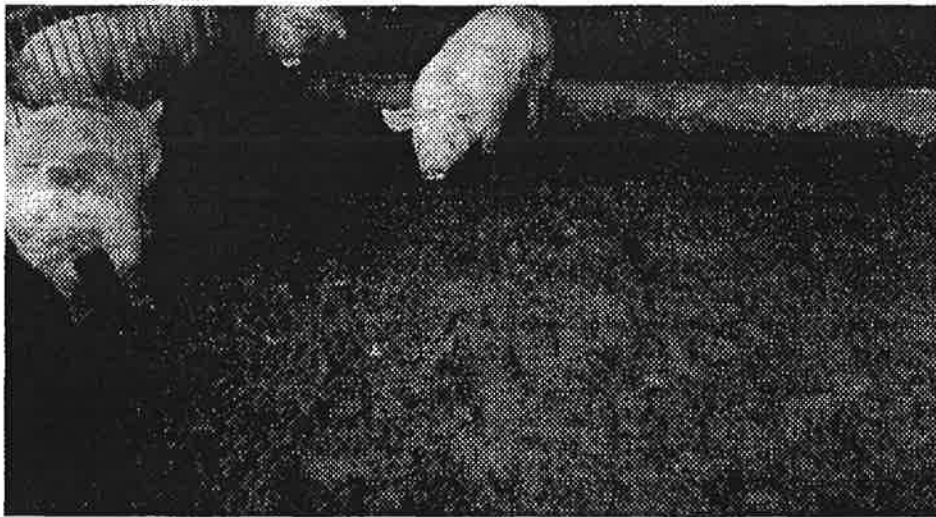
〈그림 62〉 성형 석탄회를 투입한 60일 후의 돈사 바닥 모습

〈그림 63〉은 성형 석탄회를 투입한 90일 후의 돈사 내부 모습으로서 깔짚 투입 60일째 보다는 전체적인 돈방 상태가 약간 불량하였으나 대조구의 돈방 상태로 미루어 추정해 볼 때 톱밥만을 투입한 15일째 보다는 양호하였다. 이와 같은 결과는 성형 석탄회가 돼지의 노를 흡수한 후 건조시키는 속도가 빠르기 때문이라고 사료된다. 그러나 계속적으로 시험을 수행하려고 하였으나 우천관계로 시험을 중단할 수밖에 없는 아쉬움을 남겼다.

성형 석탄회에는  $Al_2O_3$  (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 고에너지 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 축사의 소독 및 구충의 효과가 있다.

이와 같은 결과를 종합해 볼 때 성형 석탄회를 돈사의 깔것으로 활용할 경우에는 깔것으로 소요되는 톱밥비용의 절감, 성장을 향상, 호흡기 질병 예방, 설사 방지 및 돈사내 악취 예방에 큰 효과가 있으며, 톱밥 교체시기가 기존의 톱밥 단용발효돈사에 비하여 약 4~5배 이상 연장되기 때문에 노동력 절감 효과도 있는 것으로 사료되며, 우리나라의 축산업이 안고 있는 가장 시급한 현장애로 과제인 가축분뇨의 처리문제를 해결함으로써 양축가는 안심하고 축산경영에 종사할 수 있기 때문에 성형 석탄회의 작물에 대한 퇴비로서의 이용과 축사내 발효톱밥으로서의 톱밥 대체이용은 우리나라 축산업 발전에 획기적인 계기가 될 것으로 사료된다.



<그림 63> 성형 석탄회를 투입한 90일 후의 돈사 바닥 모습

<표 37>은 돈사의 깔깃으로 톱밥만을 투입한 대조구와 성형 석탄회를 톱밥과 같은 비율로 혼합하여 투입한 구의 깔깃의 수분함량, 온도변화 및 gas 발생량의 변화를 조사한 결과이다.

수분함량은 깔깃 투입 당시에 대조구는 24.3%로서 톱밥 자체의 수분함량을 나타내고 있으며, 석탄회를 성형가공한 것을 톱밥과 혼합한 경우 수분함량이 17.1%로 감소하였다. 깔깃 투입 5일 후에는 대조구 (35.0%)에 비하여 성형가공한 구에서 23.0%로 낮게 나타났다. 이러한 경향은 깔깃 투입 15일까지 계속 되어 대조구의 수분함량이 54.5%로서 거의 곤죽상태를 유지하였다.

그러나 성형 석탄회를 투입한 구에서는 수분함량이 35.2%로서 깔깃으로서의 역할이 충분히 유지되고 있었다. 이와 같은 결과는 돈사의 경우 깔깃 투입 15일 이후에는 톱밥단독 발효돈사의 경우 수분함량이 50% 이상으로서 깔깃으로서의 효과가 나타나지 않는 것으로 사료된다. 그러나 성형 석탄회를 깔깃으로 이용할 경우에는 깔깃 투입 25일 이후에도 수분함량이 37.6%로서 깔깃의 효과가 아직까지도 충분한 것으로 나타났다.

온도변화에 있어서 두 개 시험구 모두 돈사 바닥의 온도는 외기기온 보다 발효가 잘 진행되고 있음을 보여 주고 있으며 특히, 성형 가공구가 대조구보다도 전반적으로 높게 나타나 깔깃의 발효가 잘 진행되고 있음을 보여주고 있다. 그러나 대조구는 50% 이상의 높은 수분함량의 영향으로 깔깃으로서의 기능은 상실한 것으로 사료된다.

한편, gas 발생량의 전체적인 경향으로 보아 NH<sub>3</sub>는 깔깃 투입 10일까지는 석탄회 성형가공구가 대조구에 비하여 약 2~3 ppm 낮게 나타났으며, 그 이후부터 깔깃 투입 15일까지는 약 6 ppm이 낮게 나타나고 있다. H<sub>2</sub>S의 경우 대조구는 깔깃 투입 10일 후에 1 ppm으로 나타났으나 성형 가공 석탄회를 투입한 구에서는 깔깃 투입 20일 이후에 1 ppm으로 나타났다.

본 연구에서는 대조구에서 깔짚 투입 15일 후에 NH<sub>3</sub>는 약 11 ppm, H<sub>2</sub>S는 약 1 ppm으로서 가축의 호흡기 질병에 대한 우려가 나타나고 있다. 그러나 성형 석탄회를 톱밥과 동일한 비율로 혼합하여 깔짚으로 이용할 경우에는 깔짚 투입 10~15일에 NH<sub>3</sub>는 약 7~8 ppm, H<sub>2</sub>S는 깔짚 투입 20일 후에 약 1 ppm의 가스가 발생됨으로서 NH<sub>3</sub> 가스 냄새는 약간 느낄 수 있을 정도이나 석탄회로 인하여 냄새를 많이 제거할 수 있었다.

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

〈표 37〉 돈사에 대한 성형 석탄회의 투입에 따른 깔짚의 수분함량, 온도 변화 및 gas 발생량 변화

구		분	0 일	5 일	10 일	15 일	20 일	25 일
수 분 함 량 (%)	톱밥처리구		24.3	35.0	47.1	54.5	no <sup>3</sup>	no
	석탄회혼합구		17.1	23.0	33.0	35.2	37.0	37.6
온 도 (°C)	톱밥처리구		28.3	33.5	32.4	32.4	ns	ns
	석탄회혼합구		28.3	34.7	32.8	32.6	28.2	28.1
외기온도(°C)			28.2	28.5	28.0	26.0	25.0	25.0
Gas <sup>1</sup> (ppm)	대조구	NH <sub>3</sub>	3	11	10	11	no	no
		H <sub>2</sub> S	ns <sup>2</sup>	ns	1	1	no	no
	성형 가공구	NH <sub>3</sub>	3	8	7	5	5	7
		H <sub>2</sub> S	ns	ns	ns	ns	1	1

<sup>1)</sup> CH<sub>4</sub>와 CO gas는 측정되지 않았음.  
<sup>3)</sup> no : 시험종료로 측정되지 않았음

<sup>2)</sup> ns : 미량으로서 측정되지 않았음



## 제 5장. 실험결과 요약

본 연구개발 사업의 연구성과 및 예상되는 연구성과는 다음과 같다.

- 가. 가축분뇨처리 부자재 대체물질 개발 - 톱밥의 절반을 축사의 깔짚 대체재로서 석탄회를 이용할 경우 깔짚 교체기간을 4~5배 연장 가능
- 나. 가축분뇨의 자원화 촉진 - 성형 석탄회의 이용으로 발효가 잘 되어 퇴비로서의 이용가치 증가
- 다. 톱밥깔짚에 비하여 석탄회혼합 깔짚은 교체기간이 길어지기 때문에 대체비용과 대체에 필요한 노동력을 절감시킬 수 있다.
- 라. 가축의 설사 방지 및 돈사내 가스 발생 억제로 호흡기 질병 예방효과가 높으며 증체율이 높은 경향이였다.
- 마. 톱밥돈사의 경우 구대기 발생 및 기생충 발생이 높으나 석탄회처리로 인하여 이들의 발생을 억제한다.
- 바. 축산농가의 톱밥 비용 절감
- 사. 화력발전소의 석탄회 매립처분 부담 경감과 화력발전소 인근 바다오염 감소
- 아. 축산농가의 소득증대
- 자. 특정폐기물의 재활용

## 제 6장. 활용 방안

- 1) 낙농, 한우 및 양돈 농가의 깔깃으로 석탄회를 톱밥의 50~60%까지 대체할 수 있다.
- 2) 톱밥깔깃 보다 석탄회 혼합깔깃이 교체기간이 길기 때문에 톱밥으로 인한 경비절감과 교체에 필요한 인건비를 절약할 수 있다.
- 3) 축분뇨 (젓소, 한우, 양돈 및 양계등) 발효퇴비 제조시에 석탄회를 톱밥 대체물로 50% 정도 혼용하므로서 발효기간 단축, 경비절감 및 분뇨에서 발생하는 악취를 제거 할 수 있다.
- 4) 가축분뇨의 자원화 비율증가로 토양 및 수질 오염과 냄새를 제거함으로써 대기오염 감소로 환경친화적 축산을 할 수 있다.
- 5) 증체량과 산유량을 증가시키고 사료효율을 개선시킬 수 있다.
- 6) 톱밥 든사 및 우사의 경우 구데기와 기생충 발생을 억제시킬 수 있다.
- 7) 특정 폐기물의 재활용으로 화력 발전소 인근의 바다오염을 감소시킬 수 있다.
- 8) 축사 및 퇴비사의 발효에 의해 발생하는 가스에 의한 공해를 방지할 수 있고, 깨끗한 환경에서 양축을 할 수 있다.
- 9) 석탄회가 혼합된 발효퇴비는 양질의 유기질 비료로 소 pH의 상승 및 무기물질에 의한 토양개량과 작물의 생산성을 높일 수 있다.

## 제 7장. 기대 효과

### 1. 기술적 측면

- ① 석탄회를 화력발전소에서 축사깔짚으로 활용하기까지는 운반-혼합-축사의 단계를 거치기에는 효율적인 방안이 강구되어야 농가에서 쉽게 사용가능하기 때문에 산업적인 측면에서 이들의 방법이 쉽게 해결되어야 할 것이며 석탄회의 운송 및 혼합을 할 수 있는 중소 공장 설립이 문제시 된다.
- ② 석탄회를 혼합한 깔짚을 축사에 이용하므로써 톱밥을 깔짚으로 사용한 것에 비하여 사용기간이 4~5배 길어지기 때문에 가격적으로 경제적이고 특히 일손이 매우 간편해지고 1인당 사육두수가 증가하게 된다.
- ③ 구더기와 기생충 발생을 억제 할 수 있어 환경친화적인 축산이 가능하고 생산성을 높일 수 있는 것으로 지금까지의 축사 깔짚중에서 획기적인 방법이 개발되었다.
- ④ 축사 깔짚으로는 장점이 매우 많은 것으로 밝혀졌기 때문에 지금까지 축사관리에서 가장 문제가 되었던 분뇨처리를 안심하고 할 수 있어 큰 근심걱정을 덜게 되어 심적으로 안정된 축산을 할 수 있다.
- ⑤ 석탄회는 가축분뇨처리 부자재로서 톱밥을 대체할 최고의 품목으로 충분히 인정되어 축산업의 경쟁력을 제고 한다.
- ⑥ 가축분뇨의 자원화를 위한 퇴비화 기술에 대한 새로운 영역의 개발로 사료작물의 생산성과 토양성상에 미치는 영향에 대한 연구가 진행될 경우 석탄회의 재활용 가치는 더욱 커질 것으로 기대된다.
- ⑦ 성형 석탄회는 축산현장에서 발생하는 가축 배설물로 인한 악취를 제거하는 이중의 효과가 있다고 밝혀져 향후 더 많은 관심과 연구 및 기술개발이 기대된다.

## 2. 경제 산업적 측면

- ① 축산용 톱밥 가격상승과 구입난 해소가 가능하다 - 연간 국내에서 약 320 만톤의 석탄회생산
- ② 성형 석탄회를 기존의 깔깃 재료인 톱밥의 50%를 대체하여 투입함으로써 비용 절감효과가 기대되며, 석탄회의 성형방법을 양축농가에 전수함으로써 현재 축산농가가 가지고 있는 현장애로 사항에 대한 해결방안을 제시할 수 있다.
- ③ 환경공해로 인하여 양축농가의 가장 큰 문제로 제기되고 있는 가스발생 억제효과가 높기 때문에 안심하고 축산분뇨 처리를 할 수 있다.
- ④ 토양개량과 경종, 원예 농업 및 사료작물 생산을 위한 유기질 비료자원으로서 가치가 높다.
- ⑤ 석탄회를 이용함으로써 폐기 처분되고 있는 석탄회의 재활용은 물론 축산산업의 환경보전산업 정착을 유도하고 국내 축산물의 경쟁력 제고로 축산농가의 의욕을 고취시키는데 기여할 것이다.
- ⑥ 현재 국내에서 톱밥발효상에 이용되고 있는 톱밥 (110,000 원/ton)을 석탄회 (1,540 원/ton : 톱밥발효돈사의 톱밥 교체시기 보다 4~5배 연장)로 대체 이용함으로써 경비절감 뿐 만 아니라 노동력을 절감시킬 수 있어 축산농가의 실제 소득증대에 기여 할 수 있다.
- ⑦ 깔깃으로 석탄회를 톱밥과 혼용할 경우 톱밥단용보다 교체기간이 길므로 교체에 필요한 비용과 인건비를 2~3배 절감 할 수 있다.