최 종
연구보고서

축산폐기물로부터 시설재배용 유기질비료의 생산을 위한 미생물제제 및 퇴비제조기술의 개발

Production of microbial inoculants for the composting of cattle manure and improvement of compost production techniques

충 남 대 학 교

농 림 부

최 종 보 고 서

1994- 1996년도 농림수산기술특정연구사업에 의하여 완료한 "축산폐기물로부터 시설재배용 유기질비료의 생산을 위한 미생물제제 및 퇴비제조기술의 개발"에 관한 연구의 최종보고서를 별첨과 같이 제출합니다.

첨부 : 1. 최종보고서 8 부

2. 최종보고서 디스켓 1 매

1997. 12. 20.

주관연구기관 : 충남대학교

총괄연구책임자 : 이 영 하

주관연구기관장 : 충남대학교 총장

농 림 부 장 관 귀 하

최 종 연구보고서

축산폐기물로부터 시설재배용 유기질비료의 생산을 위한 미생물제제 및 퇴비제조기술의 개발

Production of microbial inoculants for the composting of cattle manure and improvement of compost production techniques

충 남 대 학 교

농 림 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “축산폐기물로부터 시설재배용 유기질비료의 생산을 위한 미생물제제 및 퇴비제조기술의 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

1997. 12. 30.

주관연구기관명 : 충남대학교

총괄연구책임자 : 이 영 하

연 구 원 : 박 희 문

연 구 원 : 장 기 운

연 구 원 : 배 경 숙

협동연구기관명 : 공주우성농협

협동연구책임자 : 조 근 호

요 약 문

I. 제 목

축산폐기물로부터 시설재배용 유기질비료의 생산을 위한 미생물제제 및 퇴비제조기술의 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

최근 축산폐기물에 대한 규제 강화와 유기농법에 의한 고부가가치의 농산물 생산에 관심이 모아지면서 이와 관련된 미생물제제의 수요 및 공급이 크게 증가하고 있다. 그러나 지금까지 미생물제제의 제조 및 유통에 대해 아무런 법적, 제도적 규제장치가 없기 때문에 용도에 맞지 아니한 수입 미생물제제의 남용과 전문지식이 부족한 소규모 업체가 무분별하게 제조한 미생물제제의 유통이 빈번하게 이루어지고 있으며, 이에 따라 미생물제제의 효능과 관련하여 농민들이 받고 있는 피해와 미생물제제에 대한 불신감이 크게 늘어나고 있는 실정이다.

사료첨가제, 축분처리제 및 유기질퇴비 발효촉진제 등의 목적으로 사용될 미생물제제의 개발은 수입대체에 따른 외화의 낭비를 막을 수 있을 뿐만 아니라, 화학비료 및 농약의 사용 경감에 따른 영농비의 절감, 유기농법에 의한 고품질의 무공해 농산물 생산에 따른 농가의 소득수준 향상에 기여할 수 있다는 점에서 그 중요성이 매우 크다. 특히 축산폐기물로부터 유기질비료의 생산을 위한 미생물제제의 경우 환경정화 및 식량작물의 증산이라는 두 가지 목적을 효율적으로 충족시킬 수 있다.

이러한 관점에서 본 연구에서는 현장의 축산농가에서 발생되는 축산폐기물을 처리·이용하여, 이를 시설채소 재배농가에서 효율적으로 유기질퇴비화할 수 있도록 다음과 같은 연계기술을 개발하고자 하였다.

1. 가축 (한우)의 비육과 소화를 촉진시키고 축산폐기물에 의한 환경에의 악영향을 저감시키기 위한 사료첨가용 미생물제제의 개발
2. 축산폐기물로부터 속성으로 안정된 유기질 비료를 생산할 수 있는 미생물제제의 개발

3. 미생물제제의 경제적 제조공법 및 생산체제 기반 구축을 통하여 미생물제제에 의한 혼란과 수입을 방지하고 영농비의 절감효과 도모

4. 유기질 비료의 제조, 사용 및 관리 방법에 대한 과학적 근거와 이론적인 규명을 통하여 환경친화적 유기농업기술과 농가 소득증대향상에 기여

III. 연구개발 내용 및 범위

1. 사료첨가용 미생물제제 개발

◇ 한우의 비육과 소화를 촉진시키고 악취발생 및 보건위생상의 문제점을 극소화할 수 있는 미생물제제

◇ 일정기간 후 효과적으로 소화기관내 정상 균총으로 정착할 수 있는 미생물제제

◇ 축분의 발효 (퇴비화)에 유익한 미생물제제

◇ 자체 생산이 용이하며 경제성이 있는 미생물제제

2. 퇴비제조용 미생물제제의 개발

◇ 축분으로부터 양질의 퇴비를 속성생산할 수 있는 미생물제제

◇ 국내 토착성 미생물제제

◇ 악취제거 및 식물생장촉진물질 생성이 우수한 미생물제제

◇ 자체 생산이 용이하며 경제성이 있는 미생물제제

3. 기타 기반조성 연구개발

◇ 기존 유통되고 있는 미생물제제의 문제점 파악

◇ 퇴비화의 과학적 이해 (미생물학적 특성, 부숙도 및 품질평가 등)

◇ 미생물 스크리닝 및 특성 파악

◇ 균주개량 및 미생물 생산체계 확립

◇ 퇴비생산 기술향상 및 설비화

◇ 미생물제제 효과의 합리적 평가

◇ 미생물제제 생산의 사업성 평가

본 연구개발 목표에 따른 연차별 연구개발 내용 및 범위는 다음과 같다.

구분	연 구 개 발 목 표	연구개발 내용 및 범위
1차 년도	- 미생물제제용 우수 균주의 탐색 - 사용중인 미생물제제의 안정성 검사 - 퇴비발효의 기초조사 - 미생물제제 제조를 위한 발효공정 기초 조사	- 대상 농축산 시설의 생태계 조사 - 미생물의 탐색 및 보존 - 사용중인 사료첨가용 미생물제제의 안정성 검사 - 발효퇴비의 미생물천이과정 조사 - 퇴비의 부숙도 검정방법 기초 조사 - 혼합 미생물제제의 효능 조사 - 미생물제제 제조를 위한 발효공정 기초조사
2차 년도	- 미생물제제의 효율적 생산체제 구축 - 미생물제제 개량과 퇴비생산에의 적용 - 퇴비 제조 및 품질 평가기준 확립 - 미생물제제의 실제 운용 및 사업성 검토	- 퇴비제조용 미생물제제 생산을 위한 발효공정 및 formulation연구 - 사료첨가용 미생물제제 생산을 위한 발효공정 및 formulation연구 - 미생물제제의 개량 및 기능향상 모색 - 발효퇴비의 부숙도 판정법 검정 - 퇴비 재료의 효율성 평가 - 생산된 미생물제제의 실제운용 및 문제점 탐색 - 미생물제제의 생산을 위한 사업성
3차 년도	- 개발된 미생물제제의 안정적 제조공법 개발 - 사료첨가, 퇴비제조용 미생물제제의 일원화 및 적용범위 확장 가능성 탐색 - 대규모적 퇴비생산 공정 및 생산 설비화 탐색 - 미생물제제를 이용한 퇴비의 현장생산 및 운용	- 개발된 미생물제제의 대량생산과 이를 위한 경제적 생산체제 구축 - 미생물제제의 안정화 조건 조사 - 개발된 미생물제제의 적용 범위 확충 - 사료첨가 및 퇴비제조용 미생물제제의 일원화 가능성 및 효용성 연구 - 공장규모의 퇴비화 적용 및 퇴비품질 연구 - 대규모 퇴비생산을 위한 공장 및 생산 설비 모형 수립 - 각 미생물제제의 실제운용, 문제점 파악 및 개선에 관한 연구 - 단위농협에서의 시범운용 및 사업성 구체화

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

현재 유통 중인 미생물제제의 효용성 검증 및 축분의 퇴비화에 대한 기초조사를 통하여 국내 토착미생물을 이용한 사료첨가용 및 퇴비제조용 미생물제제를 개발하였다. 사료첨가용 균주로서는 *Lactobacillus acidophilus*, *L. plantarum*, *Aspergillus oryzae*와 *Saccharomyces cerevisiae*가 분리 · 선정되었으며, 퇴비제조용 균주로는 *Bacillus subtilis*, *Paenibacillus macerans*, *L. plantarum* (혹은 *L. acidophilus*), *Rhodopseudomonas* sp.이 최종 분리 · 선정되었다.

미생물제제에 이용될 분리 미생물들을 최소한의 설비와 생산비로 배양할 수 있도록 배양공정을 간편화하여 경제성을 제고시킬 수 있는 생산체제를 구축하였으며, 배양 36-48시간만에 108 cfu/ml 이상 수준의 생균수를 얻을 수 있는 간이발효시설을 고안하였다. 또한 액체배지에서 얻어진 균체수의 증강 및 퇴비제조시 유기물 성분을 효과적으로 분해할 수 있도록 질석 및 쌀겨를 이용한 최적의 제제화 조건을 확립하였으며, 이 제제화 과정을 통하여 원균 배양액보다 균체수가 102-103 이상 증강되는 효과를 얻었다. 그러나 사료첨가용 제제의 경우 본배양 후 균체를 원심분리하고 skim milk와 혼합하여 동결건조하는 제제화 방법이 오염방지에 의한 안전성 확보에 보다 바람직하였다.

사료첨가용 미생물제제를 한우 두당 2 g/day씩 조제사료에 섞어 공급시 한우의 체중 증체율이 1.14 kg/day로서 대조군에 비하여 33 % 증가되는 효과를 보였으며, 소화기관내 균총의 변화 (유산균 이외의 미생물수 감소)를 유발하고 배설물의 냄새제거 효과가 탁월한 것으로 나타났다. 또한 사료첨가용 미생물제제에 이용된 미생물은 축분의 퇴비화를 촉진시켜주는 효과를 보였다.

퇴비제조용 미생물제제의 처리는 대조군에 비하여 냄새제거 및 우분 퇴비화의 주발효 과정을 5일 정도 단축시키는 효과를 보였으며, 주발효 및 후발효 (부숙) 과정 중 온도의 안정화에 도움을 주는 것으로 나타났다. 한편, 퇴비제조기술과 관련하여 축분을 부재료와 혼합하여 퇴비화할 경우 부재료로써 제지보다는 톱밥이 물리성 개선측면에서 우수하였으며, 그 적정 배합비는 20:80 (우분), 43:57 (돈분) 및 28:72 (계분) 이었다. 또한 퇴비화 초기의 온도상승은 퇴적물의 수분함량에 매우 의존적이었는데 함수율이 59-65%일 경우 최단시간에 60 ℃까지 온도상승이 이루어졌으며, 수분감소로 인하여 퇴적물의 물리성이 양호하게 개선됨에 따라 수분이 퇴적물의 물

리성에도 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

미생물제제의 처리를 통하여 생산된 퇴비를 오이재배 하우스에서의 작물비효실험을 수행하고 작물의 생육 및 수확에 미치는 영향을 조사한 결과, 대조군 (미생물제제를 처리하지 않은 퇴비)에 비하여 적심일자가 2-3일 단축되고, 총수확량이 17-19% 증가되며, 평균과장 및 과중이 약 8% 정도 증가되는 효과를 보였다. 또한 본 미생물제제를 대규모 돈분 퇴비공장에 적용 실험한 결과에서도 제제의 효용성이 충분히 입증되었다.

퇴비제조기술과 관련하여, 돈분과 계분을 각각 부재료와 혼합하여 퇴비화할 경우 부재료로써 제지보다는 톱밥이 물리성 개선측면에서 우수하였다. 톱밥에 대한 돈분과 계분의 적정 배합비는 43:57 및 28:72의 경우 각각 양호하였다.

본 미생물제제의 생산은 매우 기본적인 시설로 가능하며, 송아지 한마리당 90일간 필요로 하는 사료첨가용 미생물제제의 생산 원재료비는 2,700원 수준, 우분퇴비 1톤 제조에 필요한 미생물제제의 생산 재료비는 3,400원 수준으로 산출됨으로써 본 미생물제제의 사업화는 충분히 경제성을 지니는 것으로 판단된다. 다만 향후 농수산물의 수입개방이 자유화될 경우 보다 경쟁력을 가질 수 있는 가축으로서는 돼지와 닭이 유망하다라는 사실을 감안하여 볼 때 본 사료첨가용 미생물제제의 돼지와 닭에의 적용가능성 및 퇴비제조용 미생물제제의 돈분 및 계분에의 적용가능성에 대한 보다 심도있는 현장적용 연구가 추가적으로 이루어질 필요가 있으며, 이에 대한 연구지원이 요망된다.

SUMMARY

I. Title

Production of microbial inoculants for the composting of cattle manure and improvement of compost production techniques

II. Objective

Manure of livestock has been used as a rich source of nutrients for farmland. Although land application of the manures is the least costly and most efficient disposal method, composting of the manures prior to land application has potential advantages of increasing humic components, eliminating plant pathogens and reducing transportation costs by reducing the bulk mass. The overall process of composting involves the breakdown of complex and simple organic materials by microorganisms. From this point of view, the possibilities of using microbial inoculants to stimulate the composting of various wastes have been the focus of industrial interests. Recently, a number of microbial inoculants for facilitating the composting of livestock manures and for animal feed additive has been widely marketed. However, it is the real circumstances that most of inoculants are produced inadequately without consideration of quality control by non-specialists in small-size enterprises. This makes the efficacy of the inoculants to be obscure and thus incurs the mistrust of users for the inoculants of agricultural purposes. Particularly, production of inoculants in absence of the appropriate ecological considerations rarely attains the desired improvement in microbial activities. When considered the potential of microbial inoculants, development of efficient inoculants, including indigenous microorganisms that exert their activities efficiently in targeted environments by proper formulation with nutrient additives and/or stabilizing agents, is immensely demanded.

The main objectives of this study are as follows:

1. To develope a microbial inoculant that can be fed to cattle as a feed additive to contribute to food digestion in digestive tract, protection against pathogenic invaders, and fatting up

2. To develope a microbial inoculant that is able to enhance the decomposition efficiency of lignocellulose in the compost and thus shorten the period for the production of matured compost

3. To develope an efficient fermentation process to achieve a high yield of inocula and a formulation process to support microbial viability

4. To provide scientific informations critical to the production of high quality compost from a large- or small-scale urban compost facility

III. Scope and Content of Research

1. Development of microbial inoculant for feed additive

- ◇ To promote food digestion and minimize putrid odor
- ◇ Microbial inoculant for changing normal flora of digestive tract after feeding
- ◇ Microbes effective for composting of cattle manure
- ◇ Production effectiveness for rural community

2. Development of microbial inoculant for composting of cattle manure

- ◇ To promote rapid and effective composting
- ◇ To find out indigenous microbes
- ◇ Microbes for removal of putrid odor and for production of plant growth stimulating factors
- ◇ Production effectiveness for rural community

3. Other research activities

- ◇ To figure out problems from existing microbial inoculants
- ◇ To provide scientific informations for composting process

especially microbial activities and compostedness

◇ Screening, characterization and improvement of microbes effective for composting,

◇ Technical development of compost production and design of efficient equipment for rural community

IV. Results

Through screening and varification of current microbial inoculants and basic researches for composting of cattle manure, we developed microbial inoculants for composting and feed additives using indigenous microbes. Microbial strains for feed additive includes *Lactobacillus acidophilus*, *L. plantarum*, *Aspergillus oryzae*, and *Saccharomyces cerevisiae*, and *Bacillus subtilis*, *Paenibacillus macerans*, *L. plantarum* (or *L. acidophilus*), and *Rhodopseudomonas* sp. for composting strains.

Furthermore, we established the fermentation process efficient production for rural community. The process included simplified fermentation process to get more than 108 cfu/ml viable cell density within 36 to 48 hours. Also we developed easy and effective formulation procedure by mixed cultivation of primary fermentation product with rice bran and vermiculite, which increased the viable count more than 102 to 103 folds.

As for the feed additive, addition of the developed additive to calves for 2 g/day/head resulted in striking increment of body weight (1.14 kg/day, 33% increment compare to control) and real decrement of putrid odor from their manure by changing the microbial flora of thier digestive tract.

By treating the developed microbial inoculant for composting, the compositng process was shorten for about 5 days. Addition of the developed inoculant stabilized the aging procedure by evenly dispersed heating of composting pile. Fertilizing experiment on plant cultivation using cucumber, treatment of given compost demonstrated 2 to 3 days shorten the topping date,17 to 19% increment of total productivity and 8% increase of the length and weight of the fruit. The developed microbial inoculant was also proved to be effective on large-scale production of pig manure composting.

The suggested production procedures for these inoculants were really simple for rural community as using their basic equipment. The production costs were calculated as 2,700 won/head of calf for 90 days treatment and 3,400 won/ton of cow manure composting. Further support will be strongly desired for developing its industrial application.

CONTENT

목 차

제 1장 서 론

제 1절 연구개발의 필요성

1. 연구의 배경

국민경제의 발전과 국민소득의 향상으로 농산물에 대한 소비패턴이 급격히 고급화되고 있는 상황에서, UR협상 등으로 인한 농산물 수입개방의 확대로 우리 농업의 경쟁력 강화가 시급한 과제로 부각되고 있는 실정이다. 이에 따라 농업생산비의 절감과 더불어 품질향상을 통하여 소비자의 기호에 부합할 수 있는 우수한 농산물의 생산이 절실히 요구되고 있으며 이에 대한 농민들의 인식 또한 높아지고 있다.

최근 인류의 생존과 번영을 위해서 가장 절실히 요구되고 있는 것 중의 하나로 자연환경을 파괴하지 않고 보존하는 기술의 개발이며, 이러한 노력의 일환으로 유기농업의 중요성이 역설되고 있다. 세계 70여 개국에서 활발히 추진되고 있는 유기농업운동은 아직까지 그 필요성만 강조되고 있을 뿐, 정작 체계적인 실천기술의 개발은 빈약한 실정임을 비추어 볼 때, 현장의 독농가들이 유기농업을 실천하는 과정에서 발생되는 애로점을 해결하고 이들에게 보다 나은 기술을 개발 보급하기 위한 농·학·연의 협동개발 연구가 절실히 요청되고 있다.

화학비료의 사용은 농작물의 수확량은 증대시키나, 종국적으로 토양을 척박하게 함은 잘 알려진 사실이다. 따라서, 토양개량제 등의 다양한 역할을 하는 유기물퇴비의 사용이 절대적으로 요구된다. 유기물퇴비의 효과는 크게 두 가지가 있다. 첫째는 퇴비 중에 함유된 비료성분의 효과이고, 둘째는 유기물이 분해되어 만들어지는 부식의 효과이다. 퇴비 중에는 질소, 인산, 칼리를 비롯하여 작물생육에 필수원소인 미량원소가 다량 함유되어 있어, 이를 사용할 경우 미량원소의 결핍에 따른 작물의 피해를 막을 수 있다. 우리나라에서 연간 발생되는 가축분뇨의 비료성분함량을 연간 국내에서 소비되는 화학비료의 양과 비교해 볼 경우, 질소는 31%, 인산은 102%, 칼리는 30%정도로 가축분뇨에 포함된 비료성분의 양은 실로 막대하여 이에 대한 효율적인 활용이 중요하다.

퇴비중의 질소는 요소나 유안과 같은 화학비료의 질소와는 달리 주로 단백태 질소 (주로 미생물체)로 존재하며, 토양중에 들어가면 미생물에 의

해 분해되어 암모니아태 질소로 된 후 식물의 뿌리에 의하여 흡수된다. 따라서 퇴비 중의 질소성분은 분해가 느리므로 그 비효가 서서히 나타난다. 1년 동안에 분해되는 퇴비의 양은 온도, 수분 등에 따라 다르나 평균 30% 정도이며, 나머지는 토양의 부식질소로서 토양에 저장된다. 이 토양에 저장된 질소를 지력질소라 하며, 작물의 생육후기까지 나타난다.

또한, 퇴비의 부식에서 나오는 유기성물질은 식물뿌리의 발생이나 성장을 촉진한다. 잘 부숙된 퇴비에는 많은 곰팡이, 세균, 원생동물, 지렁이 등이 서식하며 이를 토양에 시용하면 토양 중에 유익한 미생물의 수가 증가되어 작물의 생육을 돕는다. 부식함량이 적은 토양은 쉽게 굳어져 경작하기가 어려우나, 퇴비를 시용하면 갈기가 쉽고 토양 또한 단립구조로 되어 물과 공기를 보유하는 힘이 증가된다. 화학비료, 특히 질소비료의 다량사용은 토양의 산성화를 촉진하나 퇴비를 함께 시용하면 이를 완화할 수 있으며 비료를 다소 과비하여도 피해가 적고 수분부족, 저온피해 등의 방지에도 효과가 있다. 퇴비는 토양 중에서 급격히 분해되지 않고 시용 후에도 유기물의 분해가 계속되며, 이 과정에서 탄산가스가 발생되어 시설재배지 작물의 광합성작용을 돕는다.

우리나라의 일부 토양, 특히 경제작물 재배지의 토양은 비료성분이 과잉으로 집적되어 있거나 또는 염류농도가 한계에 달한 것이 많다. 이를 해결하기 위해서는 토양진단에 근거한 시비관리가 필요하며, 잘 부숙된 퇴비의 사용은 이러한 토양의 산성화, 황폐화를 막고 작물에 필요한 양분을 충분히, 균형있게 공급하므로 다수확을 기할 수 있을 뿐만 아니라 불필요한 양분의 과잉공급을 피하고 과도한 양분축적을 미연에 방지할 수 있는 합리적인 방법이다.

UR농산물 협상을 둘러싸고 불안과 위기감이 고조되고 있는 시점에서 농가 소득증대 측면에서도 건강농산물생산과 고가판매를 통한 농가경제의 안정이 시대적인 흐름에 가장 확실한 대응책이라 생각된다. 따라서, 현재 농민들 사이에서 자율적으로 실천되고 있는 토곡, 발효퇴비, 톱밥발효사료 등의 제조 사용 및 관리 방법에 대한 과학적인 근거와 이론적인 규명을 통하여 유기농법에 의한 농산물생산기술 체계를 확립하고자 한다.

2. 연구개발의 필요성

가. 기술적 측면

유기농법에 의한 농산물 생산기술을 체계화하기 위해서는 유기질퇴비가 우선 안정적으로 공급되어야 한다. 현재 농민들 사이에서 자율적으로 실천, 사용되고 있는 토곡, 발효퇴비, 톱밥발효사료 등이 유기질퇴비의 전형적인 예이다. 유기농법이 널리 보급되고 있는 일본의 경우 이러한 유기질비료를 생산하기 위한 발효촉진제, 혹은 토양개량제로서 약 100여종의 제품이 보급되어 있는데, 우리나라의 경우 지난 1972년에 VS34가 도입 소개된 이후로 수십 종의 제품들이 일본으로부터 수입, 사용되고 있다. 그러나, 아직까지는 농민들의 이해부족으로 널리 보급되고 있지 못한 실정이며, 사용농가에서도 일정한 계통구매가 아니므로 그 효능이 일정하지 않은 상황이다. 또한, 이들 수입 미생물제제는 원산지의 미생물군락 및 토양생태계를 중심으로 개발되어 때로는 우리나라의 토양현실에 적응하지 못하여 그 기능을 발휘하지 못한다. 일부 국내에서 개발된 제품들도 있으나, 그 유통이 활발하지 못하여 일부지역에서만 국한되어 사용되고 있는 실정이며, 이 또한 그 효능에 있어 종종 많은 문제를 야기하고 있는 실정이다.

따라서, 국내의 토양조건에 맞고, 각 경작재배지별 특성에 부합되는 토양개량제, 양축형태에 맞는 축분처리제 및 공동으로 사용할 수 있고 용이하게 배양, 제조가 가능한 유기질퇴비 발효촉진제 등으로 사용될 미생물제제를 개발하기 위한 노력이 필요하다.

나. 경제적 측면

상당액의 외화가 미생물제제의 수입에 쓰이고 있고 그 액수 또한 매년 늘어나는 추세임을 감안한다면, 농산부산물 및 축산폐기물을 이용, 유기성물질이 풍부한 유기질 퇴비를 만들 수 있는 미생물제제의 자체개발은 수입대체에 따른 외화의 낭비를 막을 수 있을 뿐만 아니라, 소규모지역생산의 유도에 따른 영농비의 절감효과도 기대할 수 있다. 또한, 매년 백만톤이 넘게 소비되는 화학비료의 50% 정도를 유기질 퇴비로 대체하면, 이 역시 영농비의 절감효과를 가져올 것이며, 미생물제제의 경우 상당량 재순환되고 토양 중의 토착미생물에 의한 부식이 수반되므로 제제의 제조경비를 절감할 수 있어 경제적이다. 이러한 관점에서 미생물제제의 자체 개발 및 자체 생산 체계의 개발은 경제적인 면에서 국가적으로 외화의 사용을 절감할 수 있으며, 농가 자체로 보더라도 화학비료 및 농약의 사용 경감에 따른 영농비의 절감을 기대할 수 있다.

한편, 유기농법에 의한 농산물의 생산은 건강 안전, 고품질의 농산물을 생산함으로써 농가의 소득수준향상에도 기여하게 될 것이다.

다. 사회적 측면

화학비료의 유기질퇴비로의 대체는 토양의 산성화를 방지하여, 궁극적으로는 전국토의 오염을 감소시키는 한편, 농약사용의 자제로 인한 농산물의 안전성 확보 및 생산자의 건강 증진 등, 오늘날과 같은 농업이 갖고 있는 환경파괴적, 혹은 생명파괴적인 성격을 없애고, 토양-작물-인간의 관계에 있어 물질순환과 생명순환이 가능한 생산력을 유지함으로써 자연과 함께하는 유기농업이 정착될 것이다.

또한, 유기질 퇴비의 생산을 위하여 사용되는 재료로 왕겨, 볏짚 등 농산부산물 및 자연환경의 파괴자라 일컬어지는 우분뇨, 돈분뇨 등의 축산폐기물이 이용되므로, 이들 폐자원을 활용하여 농약이나 화학비료를 사용하지 않는 저공해 혹은 무공해 농산물의 생산이 가능해질 것이다. 따라서, 국민의 건강 생활을 개선하며 국토의 청결화를 유지하게 되므로 유기농업을 지원하는 이러한 연구개발은 사회적으로도 매우 바람직한 것이라 할 수 있다.

한편, 이러한 유기질 퇴비발효제의 개발을 위한 연구는 도시 쓰레기의 30%정도를 점하고 있는 가정의 음식물 찌꺼기 등의 유기물의 재순환을 위한 제제 및 공정개발을 위한 연구를 촉진시켜, 전반적인 청정환경 유지기술의 발전을 가져오게 될 것이며, 이는 궁극적으로 청정 자연환경의 구현에 중요한 역할을 하게 될 것이다.

3. 국내외의 연구개발 현황

가. 국내기술 현황

우리나라의 경우 화학비료의 과다 사용에 의한 생태계의 파괴 등 각종 공해요소외에 수입농산물에 대한 안전성 경쟁의 필요성, 주곡의 자급달성에 따른 잉여농산물대책 및 소비자들의 유기농산물선호 경향심화 등과 같은 제반여건의 변화에 따라 농림수산부에 지난 91년 7월 "유기농업발전기획단"을 설치하고 구체적인 발전방안을 모색하고 있다.

우리나라의 유기농업은 1971년부터 일부 독농가들이 산발적, 자율적으로 그 필요성을 주장 실천해 오고 있는 바, 1989년 정부의 조사 결과 전국에 1,406호 (628ha)의 농가가 쌀, 채소, 과수 등과 돼지, 닭 등의 유기농산물을 생산하고 있는 것으로 추정된다. 이들은 전문유통업체와 계약재배

또는 소비자 조합과 직거래 생산을 하고 있으며, 주로 미생물을 이용한 퇴비와 사료를 제조 활용하고 있다. 사용 예로는 토곡, 속효성 발효퇴비, 발효수용액, 톱밥발효사료, 계분발효사료, 균배양사료 등이 있다. 그러나 유기농업이나 유기농산물에 관하여 그 기준이나 개념이 정립되어 있지 않은 상태이며 현재 사단법인으로 운영되고 있는 한국유기농업환경연구회가 전국 10,000여명의 회원으로 가장 크게 그 기술을 실천하고 있다.

행정적 지원을 위한 공식적인 기준이 아직까지 마련되어 있지 않아, 유기농업을 적극적으로 실천하기에는 아직도 많은 어려움이 있다. 일부 시행되고 있는 행정의 대응사례로는 '무공해 농산물 생산단지조성' 및 그를 위한 사업비 보조, 그 생산품의 품질보증, 시 · 군 농촌지도소의 기술지도 등이 있으나, 극히 한정적인 형편이다. 한편, 농협 및 기타 생산자들의 단체는 농산물 수입개방문제에 신속히 대응하기 위하여 90년 1월부터 유기농업 경영기술자문교육을 실시하는 등 계통조직의 우수농산물 작목반 지원과 기술보급 및 영농지도를 하고 있다.

농협은 금후의 전망에서 자연농법의 보급을 확대하고 화학비료 · 농약사용량의 감축을 위한 농업기술을 개발하며, 건강식품 및 고품질 농산물의 수요증대, 자연환경보존면에서의 농업의 역할증대를 중요시하여, 우수농산물 시범작목반을 육성 운영하며 이들의 지원방안으로 공동 퇴비장 (소형간이퇴비장 포함)의 설치지원, 자금 및 자재지원, 교육 및 원료의 공동구입 등의 방침을 정한 바 있다. 이를 위하여 지력개선을 위한 공동퇴비장 조성이 우수농산물 생산지원의 기본적 사업이며, 퇴비조제에 과다한 노동력이 소요되는 점을 감안하여, 조합 환원사업으로 소규모 공동퇴비장 (간이시설)의 설치 운용을 적극 권장하고 있으며, 유기질퇴비의 원료확보를 위하여 볏짚, 쌀겨, 계분, 톱밥 등 일반원료는 조합이 정미소, 제재소, 축산농가 등의 대량생산처로부터 공동구입하고 퇴비조제용 효소제도 계통구매공급을 추진하고 있다.

한편, 우리나라의 제도적인 지원부분을 보면 유기농업을 지원하기 위한 제도적 절차는 아직까지 구체적으로 제정된 바 없으나, 유기농업연구회가 환경처의 지원을 받고 있으며, 축산폐수의 퇴비화 방법에 대한 업무지침을 지난 92년에 제정 고시한 바 있다. 이 지침에 의하면 오수 · 분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률 시행규칙 제4조 제4호에서 "퇴비화방법에 의하여 축산폐수를 정화하는 시설로서 호기성균 또는 혐기성균에 의한 퇴비화 설비 및 그 부대시설을 조합하여 만든 시설" 등으로 고시하여 미생물제제의 사용을 권장하고 있다. 그러나, 국내의 기술수준은 이러한 미생물제제의

제조기준이나 검정기준 등의 관리기준은 아직 초보단계에 있고, 이를 위한 체계적인 연구도 미흡한 실정이다. 이와 관련하여 최근 환경부에서는 외국으로부터 무분별하게 도입되고 있는 미생물 및 그 제제의 환경안전성 확보를 위한 수단으로써 외래미생물 및 제제의 신고 및 관리를 위한 규제를 적극 검토하고 있다.

나. 국외기술 현황

국외의 경우 대부분이 유기자연농법을 그 내용으로 하고 있다. 유기자연농법은 화학비료를 사용하지 않고 천연자재를 사용하여 재배한 것만을 인정하며, 토양의 개량을 우선적으로 요구하고 있다. 따라서, 유기농업에 의한 산물임을 인증해 주는 제도도 널리 시행되고 있으며, 미국과 같은 경우는 농업생산법을 통하여 유기농업에 관한 권고를 법제화하고 있다. 한편, 유럽공동체의 경우는 이사회를 통하여 1987년 유기농산물에 관한 규정을 채택하고 인증표시와 국별 공동규정을 지시, 1990년부터 공식적으로 사용하고 있다. 일본은 1989년 농림수산성에 유기농업대책실을 설치하고 그 기술실용화 사업을 위한 실태조사를 실시한 바 있다.

한편, 재배농가의 생산지원을 위한 정부차원의 정책지원제도 또한 다양하다. 독일의 경우 정부예산으로 경지면적 ha당 약 20만원 정도를 직접 보조하고 있으며, 그 밖의 대부분의 국가에서도 장기저리자금을 융자해 주고 있다. 미국, 프랑스 등에서는 유기농산물의 품질을 보증하는 제도의 기준을 정부가 설정하였으며, 미국의 경우는 직판장의 설치를 지원하고 있다. 이외에도 대학의 강좌설치, 민간연구소의 재정지원, 토양검사기관의 운용 등 다양한 정부차원의 활동이 이루어지고 있다.

미생물제제의 경우, 우리나라와 비슷한 형편의 일본이 가장 활발히 사용되고 있는데 그 종류만도 수백 종에 이르며 작목별, 용도별로 다양하게 사용되고 있다.

제 2절 연구개발 목표 및 내용

1. 연구개발의 최종 목표

연 구 개 발 내 용	현 황	목 표
- 사료첨가제용 미생물제제 개발 - 축분이용 유기질퇴비 발효 유효 미생물의 탐색 및 유효미생물의 배양공정조사 - 미생물제제의 안정적 제조공법 개발 - 퇴비의 개량 및 품질기준 확립	- 비과학적 단순첨가 - 사료첨가제 수준 - 인증되지 않은 제품 난립으로 사용에 혼란 가중 - 퇴비의 품질기준 모호	- 고급육 한우양축용 제제 - 호기성, 편성혐기성 혼용 - 퇴비제조의 효율성제고 및 품질기준 확립 - 토양개량제, 유기질 퇴비 제조용 발효제의 자체 생산 기술확립 - 제조의 발효공정확립, 미생물제제 및 유기질퇴비의 대량생산과 공급

2. 연차별 연구개발 목표와 내용

구분	연 구 개 발 목 표	연 구 개 발 내 용 및 범 위
1차 년도	- 미생물제제용 우수 균주의 탐색 - 사용중인 미생물제제의 안정성 검사 - 퇴비발효의 기초조사 - 미생물제제 제조를 위한 발효공정 기초조사	- 대상 농축산 시설의 생태계 조사 - 미생물의 탐색 및 보존 - 사용중인 사료첨가용 미생물제제의 안정성 검사 - 발효퇴비의 미생물천이과정 조사 - 퇴비의 부숙도 검정방법 기초 조사 - 혼합 미생물제제의 효능 조사 - 미생물제제 제조를 위한 발효공정 기초조사

구분	연 구 개 발 목 표	연 구 개 발 내 용 및 범 위
2차 년도	- 미생물제제의 효율적 생산체제 구축 - 미생물제제 개량 및 퇴비생산에의 적용 - 퇴비 제조 및 품질 평가기준 확립 - 미생물제제의 실제 운용 및 사업성 검토	- 퇴비제조용 미생물제제 생산을 위한 발효공정 및 formulation연구 - 사료첨가용 미생물제제 생산을 위한 발효공정 및 formulation연구 - 미생물제제의 개량 및 기능향상 모색 - 발효퇴비의 부숙도 판정법 검정 - 퇴비 재료의 효율성 평가 - 생산된 미생물제제의 실제운용 및 문제점 탐색 - 미생물제제 생산의 사업성 검토
3차 년도	- 개발된 미생물제제의 안정적 제조공법 개발 - 사료첨가, 퇴비제조용 미생물제제의 일원화 및 적용범위 확장 가능성 탐색 - 대규모적 퇴비생산 공정 및 생산설비화 탐색 - 미생물제제를 이용한 퇴비의 현장생산 및 운용	- 개발된 미생물제제의 대량생산과 이를 위한 경제적 생산체제 구축 - 미생물제제의 안정화 조건 조사 - 개발된 미생물제제의 적용 범위 확충을 위한 연구 조사 - 사료첨가 및 퇴비제조용 미생물제제의 일원화 가능성 및 효용성 연구 - 공장규모의 퇴비화 적용 및 퇴비품질 연구 - 대규모 퇴비생산을 위한 공장 및 생산 설비 모형 수립 - 각 미생물제제의 실제운용, 문제점 파악 및 개선에 관한 연구 - 단위농협에서의 시범운용 및 사업성 구체화

제 2 장 미생물제제 개발을 위한 기초조사

제1절 대상 농축산 시설의 생태계 조사

축산폐기물로부터 시설재배용 유기질비료의 생산을 위한 미생물제제 개발의 기초작업의 일환으로 대상지역 농축산 시설에 대한 미생물 생태학적 조사를 수행하였다. 시료는 시기별로 축산농가의 우사 토양과 원예농가의 오이밭 토양, 수박밭 토양을 대상으로 채취하였다. 우사 토양은 6 개월, 18 개월, 30 개월된 우분을 사용하였고 18 개월된 시료는 다시 기존의 미생물제제를 처리한 것, 왕겨를 처리한 것, 아무것도 처리하지 않은 것으로 나누어 채취하였다. 오이밭 토양과 수박밭 토양은 미생물제제를 처리한 토양과 처리하지 않은 토양으로 나누어서 시료를 채취하였다. 미생물제제를 사용하지 않은 우분의 경우, pH는 7.8이고 수분함량은 80 %였으며 총탄소질 성분 (total carbon, T-C)이 43.2 %, 총질소질 성분 (total nitrogen, T-N)이 2.1 %로써 탄질율 (C/N ratio)은 20.6이다. 또한, 인산의 함량은 2.8 %, 칼륨의 함량은 0.5 %로 조사되었다. 그리고 시설재배지에 토양은 pH가 5.5 수준으로 산도가 비교적 높았으며, 인산의 집적 정도는 1,000 ppm 정도로 조사되었다. 각 시료에 포함되어 있는 미생물의 총균수와 생균수의 평균 측정치는 표 2-1과 같다.

〈표 2-1〉 농축산 시설지역의 미생물 분포조사

시 료 \ 균 수	총균수 (cells/g soil)	생균수 (cfu/g soil)
우사 토양 (6 개월)	7.25×10^{10}	4.90×10^{7}
우사 토양 (18 개월) : 대조구	7.65×10^{11}	1.18×10^{8}
우사 토양 (18 개월) + 종균제	8.75×10^{11}	1.96×10^{7}
우사 토양 (18 개월) + 왕겨	3.50×10^{10}	1.21×10^{7}
우사 토양 (30 개월)	4.25×10^{11}	1.57×10^{6}
오이밭 토양 (2 년)	1.65×10^{11}	3.10×10^{8}
오이밭 토양 + 종균제	7.75×10^{11}	6.34×10^{8}
수박밭 토양	2.15×10^{10}	6.80×10^{7}
수박밭 토양 + 종균제	5.50×10^{11}	4.42×10^{7}

위의 결과에서 보는 바와 같이, 대상지역에 존재하는 각각의 총균수와

생균수의 차이는 사실상 미미한 것으로 나타났다. 전체적으로 볼때, 우사 토양보다는 일반 시설 원예농가의 토양에서 미생물의 수가 더 많이 나타났으며, 종균제 (미생물제제)를 처리한 토양과 처리하지 않은 토양에서 미생물의 수는 거의 차이가 없는 것으로 조사되었다. 그리고 사상균의 경우 18 개월 된 시료에서 가장 다양한 균종이 나타났으며 30 개월, 6 개월 시료의 순으로 균종이 다양하였다. 이 실험을 통해서 각각의 시료들로부터 우점종이라 여겨지는 22 종의 미생물을 선발하였는데, 이 22 종의 미생물들은 대부분의 토양 시료에 고루 분포 되어 있었으나, 특히 대조구의 시료에서 보다는 종균제를 처리한 시료에 더 많이 존재하고 있었다. 또한, 우사 토양의 경우, 시기가 오래된 시료일수록 곰팡이의 비율이 높게 분포되어 있었다. 선발한 22 종 미생물의 생리학적 특성을 조사하기 위해 배지내에 단일 탄소원으로써 녹말 (starch), 섬유질 (cellulose), 단백질 (protein), 목질 (xylan), 지방 (lipid) 성분을 넣어 주고 각각 22 종의 미생물들을 접종하여 배양한 후 형성되는 투명환 (clear zone)을 조사하였다. 그 결과, 각각의 토양에서 유래된 미생물들의 생리적 활성은 유사했으나 특별히 우사 토양에서 유래된 미생물들이 다른 토양의 미생물들보다 섬유질 분해능이 우수했으며 같은 우사 토양이라도 시기와 비례하여 더 많아짐을 알수 있었다. 또한 박테리아에 비해서 곰팡이가 유기물 분해능이 우수하며 종균제를 처리한 토양에서 유래된 미생물들이 생리적 활성이 더 좋은 것으로 나타났다.

대상 농축산 시설 지역 중 시기가 서로 다른 세 곳을 선택하고, 각 온도별 단일 탄소원을 이용하는 생리적 미생물 군집의 변화를 조사하였다 (표 2-2).

〈표 2-2〉 각 온도별 생리적 미생물 군집의 변화

[섬유질 분해 미생물]

시료 \ 온도 (℃)	25 ℃	37 ℃	50 ℃
우사 토양 (6 개월)	3.9 × 107	1.1 × 107	4.0 × 104
우사 토양 (18 개월)	1.4 × 105	1.0 × 105	0
우사 토양 (30 개월)	1.1 × 105	4.2 × 105	6.4 × 105

[목질 분해 미생물]

온 도 (℃) / 시료	25 ℃	37 ℃	50 ℃
1. 우사 토양 (6 개월)	3.4 × 105	2.5 × 105	0
2. 우사 토양 (18 개월)	1.9 × 105	4.0 × 105	1.0 × 104
3. 우사 토양 (30 개월)	2.3 × 107	1.0 × 105	9.0 × 104

[단백질 분해 미생물]

온 도 (℃) / 시 료	25 ℃	37 ℃	50 ℃
우사 토양 (6 개월)	6.5 × 106	9.9 × 105	5.0 × 104
우사 토양 (18 개월)	2.6 × 105	4.0 × 104	4.0 × 104
우사 토양 (30 개월)	3.8 × 105	8.2 × 105	6.5 × 107

[지방 분해 미생물]

온 도 (℃) / 시 료	25 ℃	37 ℃	50 ℃
우사 토양 (6 개월)	4.7 × 105	9.8 × 105	4.3 × 105
우사 토양 (18 개월)	2.1 × 105	1.0 × 106	3.5 × 105
우사 토양 (30 개월)	3.8 × 105	8.1 × 105	1.4 × 106

[녹말 분해 미생물]

온도 (℃) / 시 료	25 ℃	37 ℃	50 ℃
1. 우사 토양 (6 개월)	5.2 × 104	2.5 × 105	7.0 × 103
2. 우사 토양 (18 개월)	1.8 × 105	1.3 × 104	1.0 × 104
3. 우사 토양 (30 개월)	8.2 × 104	6.1 × 104	8.3 × 104

[리그닌 분해 미생물]

온 도 (℃) / 시 료	25 ℃	37 ℃	50 ℃
1. 우사 토양 (6 개월)	1.0 × 104	2.0 × 104	0
2. 우사 토양 (18 개월)	0	0	0
3. 우사 토양 (30 개월)	7.0 × 104	0	0

[펙틴 분해 미생물]

온도 (℃) / 시 료	25 ℃	37 ℃	50 ℃
1. 우사 토양 (6 개월)	3.3 × 104	6.0 × 104	9.0 × 103
2. 우사 토양 (18 개월)	1.4 × 104	3.6 × 104	9.0 × 103
3. 우사 토양 (30 개월)	5.4 × 104	8.7 × 104	3.4 × 104

[요소 분해 미생물]

시 료 \ 온도 (℃)	25 ℃	37 ℃	50 ℃
1. 우사 토양 (6 개월)	6.0 × 106	1.4 × 106	5.1 × 105
2. 우사 토양 (18 개월)	3.0 × 104	9.0 × 105	2.3 × 105
3. 우사 토양 (30 개월)	2.0 × 106	5.0 × 106	5.0 × 104

표 2-2에서와 같이 섬유질 분해 미생물과 단백질 분해 미생물의 수는 시기가 오래된 것일수록 다소 감소하였고, 그 밖의 목질, 지방질, 녹말 분해 미생물의 수는 거의 유사하였다. 특히 리그닌 분해 미생물의 경우 세균의 경우에는 전혀 발견이 되지 않았고 곰팡이에서 낮은 수로 발견되었다. 생리적 미생물 군집의 조사와 더불어 각 시기별 우사 토양에 대한 토양 내에 존재하는 토양 효소의 활성도를 조사하였다 (표 2-3).

〈표 2-3〉 시기별 농축산 시설지역의 토양효소 활성도 변화

[녹말, 섬유질, 펙틴, 목질 분해효소] (효소단위: μmol product · g-1· h-1)

시 료 \ 효 소	AMYLASE	CELLULASE	PECTINASE	XYLANASE
우사 토양 (6 개월)	0.692	0.385	1.640	2.510
우사 토양 (18 개월)	0.774	0.555	1.825	1.920
우사 토양 (30 개월)	0.793	0.989	2.405	2.928

[인산 및 리그닌 분해 효소]

시 료 \ 효소	PHOSPHATASE (μmol nitrophenol g-1)	LIGNINASE (OD × 104/ml · mM · h)
우사 토양 (6 개월)	0.568	61.00
우사 토양 (18 개월)	1.731	38.75
우사 토양 (30 개월)	0.611	68.50

[요소 분해 효소] (효소단위: μmol NH3 / min · g soil)

시 료 \ E.U.	UREASE-1	UREASE-2
우사 토양 (6 개월)	0.055	0.054
우사 토양 (18 개월)	0.688	0.713
우사 토양 (30 개월)	0.040	0.044

[단백질 분해 효소] (효소단위: μmol tyrosine · g-1· h-1)

시 료 \ Reagent conc.	TEST		CONTROL	
	0.2 %	2 %	0.2 %	2 %
우사 토양 (6 개월)	0.035	0.046	0.026	0.039
우사 토양 (18 개월)	0.039	0.063	0.034	0.034
우사 토양 (30 개월)	0.018	0.018	0.009	0.015

토양의 비옥도를 측정하기 위한 지표로 이용되는 인산 분해효소와 요소 분해효소를 포함하여 여러 종류의 토양효소 활성도를 조사하였다. 조사된 토양 중 30개월 된 우사 토양에서 섬유질 분해효소와 리그닌 분해효소, 펙틴 분해효소와 같은 경우, 토양 효소 활성도가 높게 나타났으며 요소 분해효소, 단백질 분해효소는 낮게 나타난 결과를 얻었다. 그 외의 토양효소 활성도는 거의 유사한 수치를 갖는 것으로 조사되었다. 위에서 조사된 바와 같이, 대상지역 시설원예 농가의 경우 지력이 약하고 산도가 높게 나타났으며 접종한 종균제가 기존의 토양생태계의 지대한 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다. 그러나 종균제를 접종한 토양이 접종하지 않은 지역의 토양보다는 미생물의 개체수, 미생물의 생리적 활성, 토양효소활성도가 미약한 우위를 나타내는 것을 알 수 있다. 그러므로 미생물제제의 개발시 시비한 종균제내의 미생물에 의해서 대상 지역의 토양 생태계에 좀 더 효과적인 영향을 줄 수 있고 축산 분뇨의 속성 퇴비화에 탁월한 영향을 줄 수 있는 미생물제제의 사용이 필요함을 알 수 있었다.

제2절 시판중인 미생물제제의 효율성 및 안정성

1. 시판중인 미생물제제의 효율성 검사

미생물제제의 품질 또는 효능과 관련된 공인된 기준은 마련되어 있지 않다. 이로 인하여 인증되지 않은 제품의 난립으로 사용에 혼란이 가중되고 있으며, 이에 대한 농민들의 불신이 커지고 있는 실정이다. 실제로 미생물제제의 품질을 파악하기란 결코 쉬운 일이 아니나, 본 연구에서는 현재 대전 및 충청남북도를 중심으로 유통되고 있는 사료첨가제 및 퇴비제조용 미생물제제를 대상으로 제품내에 포함된 미생물의 생균수를 측정하고, 우점하고 있는 미생물의 유기물 분해능을 조사함으로써 제품의 품질을 간접적으로 평가하고자 하였다. 그 결과 표 2-4에서와 같이 대부분의 제품내에 포함된 미생물의 생균수는 106 cfu/g 이하의 수준으로, 자연계에 분포되어 있는 미생물의 생균수를 감안하여 볼 때 그 수가 절대적으로 작은 것

으로 평가되었다. 실제 미생물제제 중에는 제품의 내용물을 밝히지 아니한 것들이 많았으며, 제제내에 포함되어 있는 미생물의 종류를 표기한 제품의 경우에도 오염균으로 판단되는 일반 미생물 (잡균)을 다량 함유하고 있음으로써 생산 및 유통단계에서 품질관리가 제대로 되지 못하고 있음을 보여주었다. 또한 퇴비제조용 미생물제제내에 포함된 미생물 중 우점종으로 판단되는 균주들을 분리하고, 이들의 lipase, amylase, cellulase, protease 및 xylanase 효소 활성능을 비교한 결과, 분리된 우점 균주 중에는 유기물 분해능과 관련하여 특징적이지 못하거나 그 역가가 미약한 균주가 다수 발견되었다 (표 2-5).

〈표 2-4〉 유통되고 있는 미생물제제의 생균수 및 총균수

제 품	생균수(plate count)	총균수(직접계수법)
A	3.50 × 104	6.55 × 109
B	1.98 × 107	3.45 × 109
C	1.33 × 104	2.95 × 109
D	9.27 × 107	1.75 × 109
E	7.88 × 104	1.10 × 109
F	4.07 × 107	9.95 × 109
G	1.27 × 106	1.59 × 1010
H	8.38 × 104	2.85 × 109
I	1.47 × 105	1.95 × 109
J	1.04 × 105	3.25 × 109
K	7.00 × 106	3.05 × 109
L	1.88 × 109	5.01 × 1010
M	1.70 × 105	1.95 × 1010
N	2.95 × 107	0.90 × 108
O	5.50 × 106	1.80 × 1010

<표 2-5> 퇴비제조용 미생물제제로부터 분리된 미생물의 효소활성

효소 \ 균주	그 람 염색	효 소 활 성 조 사				
		lipase	amylase	cellulase	protease	xylanase
F1	양성	+	+++	+	+	+
F2	양성	−	+	+	+	+
F3	양성	−	++	+	−	+
F4	양성	−	++	+	+	−
F5	양성	+	+	+	+	−
F6	양성	−	+++	++	+	−
F7	양성	−	++	−	−	−
F8	양성	+	+	+	−	−
F9	양성	−	−	−	−	+
F10	양성	−	++	+	+	+
F11	양성	−	−	++	+	+
F12	양성	+	++	+	−	−
F13	양성	−	−	−	−	+
F14	양성	−	−	−	−	−

-, no activity; +, low; ++, moderate; +++, high

2. 시판중인 사료첨가용 제제의 안정성 검사

미생물제제의 품질 측면에서 고려해야 할 내용 중 하나는 이들의 병원성 여부이다. 국내에서 제조되는 미생물제제의 경우 제조업체의 영세성, 전문성 결여 및 제도적 규제의 미흡으로 인하여 병원성 또는 안전성에 대한 검증이 전혀 없는 실정이다. 현재 유통 중인 사료 첨가용 혹은 퇴비용 미생물제제 22종을 수거하여 내용 미생물 및 성분을 조사하여, 생체에 유해한 병원 미생물 및 유해 독소생성 미생물의 존재유무를 확인함으로써 사료첨가용으로서의 안전성을 검사하였다.

사료용으로 사용되는 미생물 제제는 주로 효모류 및 젖산균류, 사상균, 그리고 미량원소, 아미노산류, 전분 및 단백질 분해효소를 포함하고 있는 것으로 표시되어 있었다. 이들 미생물제제는 미생물 그 자체를 이용하기 보다는 미생물의 대사산물 및 추출물 (crude extract)로 구성되어 있어 가축의 소화를 돕기 위한 것으로 사료된다. 대사산물 및 미량원소는 특정하게 분석할 필요가 없었으며, 소화를 돕기 위한 분해 효소류도 순수 분리된 것보다는 배양여액 등을 바로 사용한 것으로 별도의 분석을 필요로 하지 않았다. 그러나 미생물 그 자체를 사용한 경우는 이들 미생물이 병원성인지의 여부, 혹은 2차 대사물로 독소 혹은 기타 유해물질을 생성하는지의 여부를 확인하여야 한다. 병원성 미생물의 여부는 분리미생물을 동정함으로써 확인할 수 있으나, 2차 대사물로 독소 혹은 유해물질을 생성하는지의 여부는 이들 2차대사물을 분리하여야 한다. 본 실험에서는 우선적으로 미생물을 분리하여 동정함으로써 병원성 여부를 검토하고, 독소 및 유해물질의 경우는 동정된 미생물로부터 분리되어 보고된 것이 있는지를 문헌상으로 검토하였다. 세균의 동정은 세포지방산을 추출하여 기체 크로마토그래프 (Hewlett Packard 5890)로 그 조성을 분석하여 자체 보유중인 동정용 Library를 탐색함으로써 수행하였으며 (MIDI Microbial Identification System, Version 3.5), 효모 및 사상균은 배양적 특성 및 형태적 특성, 세포지방산 분석 등으로 동정하였다. 분리된 미생물은 다음 표 2-6과 같다.

이상의 미생물 균주는 대부분이 식품의 발효 혹은 분해에 관여하는 미생물로 비병원성이며, 이들이 생성하는 2차 대사물은 인체 혹은 가축에 유해하지 않은 향료 등으로, 이들 미생물제제를 사료 첨가용으로 사용하여도 무방할 것으로 사료되었다. 그러나 지금까지 국내에서 제조되는 미생물제제의 경우 제조업체의 영세성, 전문성 결여 및 제도적 규제의 미흡으로 인하여 병원성 또는 안전성에 대한 검증이 전혀 없는 실정이기 때문에 향후 미생물제제의 개발시 품질적인 측면에 우선하여 병원성 (안전성) 여부에

대한 규제가 반드시 필요할 것으로 사료된다.

<표 2-6> 유통 중인 사료첨가제 내에 포함된 미생물

구 분	종 명
세균류	*Lactobacillus brevis, Lactobacillus acidophillus, Lactobacillus lactis, Lactobacillus plantarum, Bacillus subtilis, Bacillus licheniformis*
효모류	*Saccharomyces cerevisiae, Torulaspora delbrueckii*
사상균	*Aspergillus niger, Aspergillus oryzae*

제 3절 농축산 부산물 및 유기성폐자원 현황조사

경제성장과 생활수순의 향상으로 축산물의 수요가 급속히 늘어남과 동시에 지역적으로 가축분의 발생량도 급속히 편중되어 늘어가고 있는 실정이며, 이에 또한 앞으로의 농업정책도 생산위주에서 고품질의 농산물을 생산하기 위해서 지속적인 유기농업으로 전환되고 있다. 가축분뇨의 발생량은 94년 현재 분 50,961천톤, 뇨 20,161천톤에 이르고 있다. 이와 같이 발생되는 축산 분뇨를 정부에서 효율적으로 처리하면서 고품질의 유기질비료를 농가에 공급할 목적으로 94년도에 460억원의 예산으로 100개소의 농촌공동퇴비장의 건설을 추진하였다. 그러나 지역적으로 발생하는 농축산 부산물이 다양하고, 또한 공동퇴비장을 운영할 기술이 부족한 실정으로 현재 운영되고 있는 곳에서도 시행착오를 많이 겪는 등 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 지역적으로 가축분의 발생량과 유기성 산업폐기물의 발생량에 대한 통계자료를 이용하여 조사하고, 충남지역의 공동퇴비장 인근지역 발생량은 실사를 통해서 조사하고자 하였다.

또한 원료의 물리화학적인 특성을 기준으로 이론적인 퇴비화 모델을 수립하여, 이 모델을 현장에 적용시켜 발생되는 문제점을 파악하고, 퇴비화 과정중의 물리화학적인 변화를 조사하여 적정한 퇴비화모델을 설정하고, 축산고형물과 부재료가 혼합된 퇴비제품의 부숙도 판정을 물리적, 화학적, 미생물학적으로 접근하여 실시하고자 하였다.

1. 지역별 농축산부산물 발생현황 조사

현대문명은 경제적 풍요를 추구하는 대신 부수적으로 환경오염 물질 배

출이란 문제를 수반하고 있다. 1992년 6月 브라질 리우에서 160여개국 정상들과 3만여 환경운동가들이 모여서 "환경적으로 건전하고 지속가능한 개발, 즉 국가사회의 성장을 위해서는 경제발전의 필요성을 인정하면서도 개발행위가 환경의 수용능력을 초과하여서는 안된다."는 점을 명백히 천명한 것을 계기로 각 나라에서는 환경보호에 관심을 집중시키고 있으며, 우리나라에서는 종합적 폐기물 관리체계로서 폐기물의 감량화, 재활용, 소각, 매립의 순으로 최종 매립되는 양을 최소화하는 방안에 역점을 두고 있다.

유기성 폐기물은 퇴비나 사료 또는 연료 등으로 재활용이 가능하며 그중 퇴비화는 극히 적은 편이지만 실제 실용화되고 있고 공동퇴비장, 퇴비제조공정시설 등 정책적 지원도 확대되고 있다. 또한, 최근 소비자들도 생활수준이 높아지자 무공해 안전 농산물을 선호함으로서 이를 충족시키기 위한 재배양식으로 다량의 유기물 시용이 요구되고 있다. 일부 농민 단체에서는 유기농법을 도입해서 고품질 농산물 생산을 적극 추진하고 있다. 그러나 문제는 이와 같은 흐름에 편승해서 일부 환경부문에서는 산업체에서 발생되는 각종 유기성폐기물을 농업적으로 해결하려고 많은 양의 폐기물을 농경지에 투입하는 쪽으로 관심을 쏟고 있다. 그러나 농업적으로 볼때. 이는 매우 위험한 착상이며, 토양과 친화력이 있는 최적의 유기성폐자원을 선택하여 알맞은 양을 투입시켜야 양질의 농산물생산은 물론 먼 후손까지 남겨줄 토양이 건전하게 유지 보존 된다는 것이 일반적인 견해이다.

본 조사는 이와 같이 유기성폐자원을 재활용해서 토양환경오염을 방지하는 차원인 퇴비화 연구에 앞서서 현재 우리나라에서 발생되는 폐기물중 퇴비화가 가능한 농축산 부산물 및 유기성폐자원 발생량을 파악함으로서 농업적 이용규모와 퇴비화 시스템개발 기초자료로서 활용코자 조사하였으며 그 결과를 기술하였다.

가. 농산 부산물

우리나라 농업은 벼농사를 중심으로 보리, 콩 등 식량작물이 농산물생산의 주류를 이룬다. 퇴비화가 가능한 농산부산물 역시 식량작물에서 나오는 부산물이 대부분이며 지역별 발생량은 표 2-7 및 표 2-8과 같다.

벼에 있어서 볏짚은 전국적으로 약 700만톤, 왕겨 150만톤, 미강 44만톤이 생산되고 있는데 볏짚의 경우는 1977년 콤바인이 보급되면서 논토양에 환원되기 시작하여 80년 중반 수확작업이 완전 기계화됨에 따라 일부 사료용과 버섯재배 퇴구비 재료 등으로 활용되고 거의 대부분 토양에 환원되고 있다.

<표 2-7> 지역별 벼, 보리 부산물 발생량 (단위: 천톤/ha)

구 분	벼				보 리		
	재배면적	볏 짚	왕 겨	미 강	재배면적	보리짚	보리겨
서 울	761	4.6	1.0	0.29	0	0	0
부 산	4,543	32.4	7.1	2.02	13	0.03	0.01
대 구	1,765	10.6	2.3	0.66	10	0.02	0.01
인 천	3,864	25.9	5.7	1.62	0	0	0
광 주	9,868	62.2	13.7	3.88	456	1.25	0.39
대 전	3,450	23.3	5.1	1.45	44	0.10	0.03
경 기	154,940	1,064.4	223.6	63.42	191	0.41	0.13
강 원	50,916	251.0	55.2	15.66	404	0.84	0.27
충 북	64,318	391.1	86.0	24.20	68	0.15	0.05
충 남	170,745	1,171.1	264.4	75.00	3,392	2.29	0.73
전 북	163,648	1,122.5	244.8	69.44	8,541	23.94	7.66
전 남	194,887	1,224.8	263.3	76.37	19,743	49.50	15.98
경 북	151,058	921.5	207.2	57.50	4,981	11.38	3.64
경 남	126,705	750.1	165.5	46.81	8,153	19.55	6.26
제 주	210	1.3	0.3	0.08	41	0.11	0.03
계	1,101,678	6,998.8	1,546.2	438.6	45,974	110.02	35.19

생산량: '94작물통계(농림수산부), 왕겨 : 정곡의 22%
미강 : 현미의 8%, 보리짚 : 정곡의 동량, 보리겨 : 정곡의 32% 적용

왕겨 및 미강은 주요 도정공장을 대상으로 표본조사 결과 왕겨는 축산농가나 왕겨탄, 왕겨숫 등 제품원료수집상이 거의 대부분 수거하고 있다. 극히 적은 양이 자체퇴비장 재료로 활용되고 있으며 미강은 전량 사료 내지는 퇴비재료로 이용되고 있다. 보리 짚의 경우는 전국 총생산량이 11만톤이고 지역적으로는 전·남북과 남쪽 지방에서 95%이상 생산되고 있으며 이용실태는 극히 적은 양만 가공품이나 퇴비재료로 활용되고 거의 대부분 소각 처리되고 있다.

그외 콩이나 참깨 부산물은 경북, 들깨는 충남에서 다량 발생되고 있으나 역시 대부분 소각처리되고 있어 양질의 유기질자원이 아깝게 소모되고 있는 실정이다.

나. 축산 부산물

농축산부산물은 최근 급격히 증가되어 그 처리문제로 고심을 하고 있다. 분뇨처리는 축산업의 가장 큰 기본 과제로 부각되고 있다. 더욱이 정부에서는 축산폐수에 관한 법률을 개정하여 방류수 수질기준을 대폭 강화

하고 허가 대상 축산 농가의 범위를 확대하는 등 축산폐수로 인한 환경오염을 최대한 줄이고 있다. 이미 시행령을 공포한 바 있어('92.11.14) 가축분뇨의 재활용 방안은 필연적으로 수립되어야 한다. 전국 축종별 사육두수와 분뇨발생은 표 2-3, 2-4와 같다. 한우는 전국 사육두수가 250만두로서, 경북, 전남, 충남, 젖소는 454만두로서 경기, 충남, 돼지는 600만두로서 경기, 충남에서 50%이상 차지하고 있으며, 축종별에 대하여 전체적으로 볼 때 경기, 충남이 높은 비중을 차지하고 있다.

<표 2-8> 주요 밭작물 부산물 발생량 (줄기, 껍질 등)　　(단위 : 톤/ha)

구 분	콩		참 깨		들 깨		땅 콩	
	면적	건경중	면적	건경중	면적	건경중	면적	건협실증
서 울	58	31	4	14	17	55	1	7
부 산	134	71	13	43	6	21	0	0
대 구	162	55	59	216	11	59	1	4
인 천	186	98	38	125	75	193	7	59
광 주	469	324	408	1,565	78	248	8	37
대 전	436	234	116	413	341	1,117	12	89
경 기	7,942	4,169	3,374	11,174	5,683	18,397	2,128	17,638
강 원	7,613	5,253	1,108	4,531	4,375	13,230	257	1,758
충 북	9,655	6,324	4,029	13,733	4,804	13,730	1,087	7,803
충 남	9,579	6,945	4,006	13,651	8,893	29,135	1,109	8,288
전 북	6,683	4,546	3,838	13,652	4,487	12,184	1,345	12,343
전 남	36,695	27,154	9,875	27,494	1,422	4,784	516	2,424
경 북	21,090	7,171	8,784	32,467	1,196	2,612	1,784	9,043
경 남	13,126	6,957	3,398	11,909	1,190	3,948	549	2,520
제 주	7,899	7,860	1,712	3,125	0	0	549	52
계	121,729	77,190	40,834	134,093	32,582	101,321	8,815	62,064

주) 콩-종싱수량 50%, 참깨-종실의 4.8배, 들깨-종실 4.2의 4.2배,
땅콩-종실의 3.7배. '94특용작물시험연구총람, 재배면적: '94작물통계

이와 같은 사육두수에 한우 400 kg, 젖소 500 kg, 돼지 60 kg, 닭 1.8 kg을 기준으로 하여 배설량을 추산해 보면 한우는 1,825만톤, 젖소는 579만톤, 돼지는 445만톤, 닭은 355만톤으로 우분이 75% 이상 점유하고 있다. 지역별로는 우분은 경기, 경북, 충남, 돈분은 경기, 충남, 계분은 경기, 경북, 충남에서 집중 발생되고 있으며 뇨발생도 분발생과 동일한 경향으로 다량 발생되는데 축종 또는 축산시설 형태에 따라 차이는 있으나 BOD함량

이 가정의 생활오수에 비해 약 15배 이상 됨으로 하천방류시에는 별도의 정화시설이 필요하다. 그러나 뇨중에도 질소함량이 0.6-1.0 %, 인산은 1.0 %이상, 가리는 0.3-0.6 % 정도 함유되어 있기 때문에 비료자원으로서의 활용은 가능하며 이와 관련한 연구가 현재 검토되고 있으나 아직은 미흡한 실정이다.

문헌조사에 의하면 '93년도 분뇨 총발생량을 비료가치로 환산할 경우 질소는 년간 313천톤, 인산 246천톤 가리 286천톤으로 우리나라 화학비료 총소비량인 질소 467천톤, 인산 219천톤, 가리 254천톤에 비해 인산과 가리는 완전 대체가 가능하며 질소는 67%정도 대체가 가능하다는 산술적 수치를 보아 가축분뇨의 퇴비화 또는 액비화 문제는 매우 중요하며 환경오염 방지 차원에서도 최우선적으로 해결해야 될 과제로 판단된다.

<표 2-9> 지역별, 축종별 년간 분뇨발생량 (단위 : 천톤)

지 역	한 우		젖 소		돼 지		닭
	분	뇨	분	뇨	분	뇨	분
서 울	1.6	1.0	3.0	2.0	0.8	1.1	0.12
부 산	24.1	14.4	32.5	21.7	25.3	32.9	11.2
대 구	175.8	105.5	71.7	47.8	29.1	37.8	12.3
인 천	152.1	91.3	1.06.1	70.7	85.0	110.5	47.1
광 주	52.1	31.3	20.6	13.7	10.0	13.0	6.4
대 전	41.1	24.7	12.8	8.5	4.6	5.9	8.8
경 기	1,615.8	969.5	2,490.2	1,660.2	1,223.4	1,590.4	1,075.9
강 원	1,164.5	698.7	283.9	189.3	162.2	210.8	157.2
충 북	1,228.3	737.0	289.3	19,239	189.5	246.4	209.4
충 남	2,751.4	1,650.8	913.3	608.9	847.6	1,101.8	485.9
전 북	1,490.9	894.6	366.0	144.0	344.7	448.1	424.9
전 남	3,203.9	1,922.4	359.4	239.6	394.2	515.5	290.1
경 북	3,548.4	2,129.1	520.2	346.8	488.3	634.7	492.9
경 남	2,525.3	151,532	462.3	308.2	496.2	645.0	284.8
제 주	271.5	162.9	45.4	30.3	151.6	197.1	41.2
계	18,246.8	10,948.4	5,976.7	3,984.6	4,452.5	5,788.0	3,542.2

2. 일반 및 산업체별 유기성폐기물 발생현황

가. 산업체 유기성 폐기물

사업장의 일반 유기성폐기물은 크게 분류하면 제품제조과정에서 발생되는 폐기물과 폐수 및 오수처리 과정에서 발생되는 폐기물로 나눌 수 있다. 먼저 제품제조 공정에서 발생하는 사업장 폐기물 중에서 유기물을 다량 함유하는 폐기물로는 피혁, 식료품제조업, 음표제조업, 주정공장, 종이 제조업 등으로 유기물함량이 80%이상이며 이중 유해물이 적은 폐기물은 퇴비화가 가능하다.

<표 2-10> 유형별 사업장 폐기물

분 야 별	잠재폐기물량 (㎥/년)	분 야 별	잠재폐기물량 (㎥/년)
도축장(소)	1,329,000	수산물통조림	104,280
도축장(돼지)	3,030,600	주정제조	96,577,000
가공육	1,638,600	맥주제조	12,625,600
햄, 소시지	521,400	효모제조	324,350
용유가공	1,642,800	라면부	4,032,200
식용유가공	406,200	두부제조	3,794,700
장유가공	732,250	제과제조	4,617,700
그루타민산소다	2,282,150	세모공정	5,980,000
설탕정제	3,366,350	펄프제조	73,264,750
물엿, 포도당	23,247,250	항생제	6,313,800
감귤롱조림	1,711,900	피혁가공	4,881,500

자료 : ‘95 유기성 폐기물 자원활용 심포지움

사업장 유기성폐기물 중 가장 많은 비중을 차지하고 있는 것은 폐수처리오니, 종이류, 동식물성 잔재물인데 이들의 활용도는 폐수처리오니가 36%, 종이류 46%, 동식물 잔재물 63%가 재활용되고 있으며 나머지는 매립 또는 소각처리되고 있다. 이들은 폐합성 고분자 화합물과 오니류 일부의 유해물만 제거되면 매립 또는 소각되는 상당량의 폐기물이 비료자원으로 활용이 가능하다. 사업장 유기성폐기물을 세분화하여 유형별로 발생량을 조사한 바에 의하면 표 2-8과 같으며 이들 각각의 퇴비화 여부는 금후 검토할 과제이다.

실제 비료화가 가장 용이한 농산물 가공제품화 과정에서 발생하는 폐기물을 충남도내 가공업체를 대상으로 조사한 바에 의하면 도내 가공업체수

는 총 32품목에 116개소이며 이들 업체중 부산물의 양과 질을 감안하여 표본조사한 결과는 표 2-11과 같다. 가공 부산물중 참깨 및 들깨박은 100톤 이상 생산되고 있지만 퇴비재료로서는 양질의 재료이기 때문에 실제 이용실태도 전량 쌀겨와 혼합하여 퇴비화하고 있으며 사과박은 유기산이 다량 함유되어 재활용이 안되고 있고 매년 600톤 이상 매립 또는 방치되어 이에 대한 비료화 대책이 필요하다.

<표 2-11> 농산가공 부산물 발생량(충남) (단위 : 톤)

품목	개소주	년간 생산	부 산 물	부산물 발생량	이용 실태
식용류	5	197	참깨박, 들깨박	118	퇴 비
과일통조림	5	20,000	사과박	6,000	매 립
김치	10	11,690	무, 배추쓰레기	2,340	분쇄 착즙후 매립
구기자음료	2	80	구기자 박	56	매립, 일부사료화
조미식품(마늘)	1	3,600	마늘껍질	150	소각, 퇴비
민속주	4	21,540	주정박,	60	사료, 퇴비
차류	2	1,860	당귀, 인삼박	400	사료, 퇴비매립
건강보조식품	1	300	감박	60	퇴비, 매립

김치 가공공장에서 나오는 무, 배추 쓰레기도 처리물량의 20%정도인 2000톤이 나오나 별도의 퇴비화시설이 없이 업체쪽에서는 그 처리 문제로 고심을 하고 있으며 다만 부피를 줄이기 위해 분쇄 착즙후 즙액은 따로 정화처리하고 착즙한 부산물은 쓰레기로 버리는 것이 일반적인 경향이었다. 분쇄 착즙된 무, 배추 잔유물은 염장처리 전단계이기 때문에 퇴비재료로서는 활용가치가 매우 높다고 판단된다. 그외 당귀, 황기, 구기자, 인삼박, 주정박, 감박 등이 다소 발생되어 일부 사료나 퇴비로 사용되고 있으나 대부분의 양이 폐기되어 자원의 효율적 사용이 이루어지지 않고 있다.

나. 일반 유기성 생활 폐기물

생활 폐기물의 최근 발생 추이는 연탄재나 음식물 폐기물은 점차 줄어드는 경향이나 소득수준 향상으로 생활양식이 변화됨에 따라 종이류, 목재류, 금속초자류 등은 증가 추세를 보이고 있다. 표 2-12의 생활 폐기물 중 주종을 이루고 있는 것은 음식물 채소류, 종이류이며 음식물 채소류는 1%만 재활용되고 있을 뿐 나머지는 모두 매립 또는 소각 처리되어 현재 매립장 문제로 지역분쟁이 계속되고 있는 실정이다. 음식물 퇴비화에 대해서는

이미 수년 전부터 연구소, 학계, 관련 산업체에서 많은 관심을 갖고 연구 검토해 왔고 지금도 진행되고 있지만 아직도 획기적인 방안이 제시되지 않고, 다만 선별적인 사용 방안 (비식용작물, 임야 등)을 모색해야 할 것으로 판단된다.

종이류는 발생량 중 44%가 재활용되어 있어 비교적 양호한 편이나 절반 이상 소각 또는 매립되어 이에 대한 퇴비화도 가능하며 그외 목재류도 분쇄공정을 거쳐 톱밥화한다면 훌륭한 유기질비료 부재료 자원으로 활용이 가능하다.

<표 2-12> 생활폐기물 발생량 (단위 : 톤/일)

구 분	음식물 채소류	종이류	나무류	고무 피혁류	플라스틱류	기타	불연성	계
발 생 량	18,055	12,468	2,443	1,721	2,915	4,671	15,845	58,118
처리현황								
·매 립	17,573	6,134	2,091	1,581	2,279	3,930	13,605	47,166
·소 각	316	805	295	58	126	424	0	2,204
·재활용	166	5529	57	82	510	344	2,240	8,928

3. 유기성 폐기물의 활용방안

매년 증가되고 있는 유기성 폐자원을 자원화하여 폐기물에 의한 환경오염을 줄이고자 최근 학계를 비롯하여 연구기관, 산업체 등에서 많은 관심을 갖고 재활용기술 개발에 역점을 두고 있다. 본 조사 연구는 유기성 폐기물중 퇴비화가 가능한 종류별, 발생량을 파악함으로써 농업적 이용규모와 퇴비화 시스템개발 연구에 기초자료로 활용코자 조사하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 농산 부산물

1) 볏짚은 전국적으로 700만톤, 왕겨 155만톤, 미강 44만톤이 생산되며 경기, 충남, 전북, 전남에서 많이 발생되고 있다.

2) 볏짚의 경우 콤바인 수확에 의해 거의 대부분 토양에 환원되고 왕겨는 축산농가나, 왕겨탄, 왕겨숯 등 제품원료로 미강은 사료 또는 퇴비 재료로 전량 이용되고 있다.

3) 주요 밭작물의 부산물은 줄기나 껍질로서 보리짚은 110천톤, 콩은

77천톤, 참깨 134천톤, 들깨 100천톤, 땅콩 62천톤이, 보리짚과 콩줄기는 전남, 참깨는 전남·경북, 들깨는 충남, 땅콩은 경기·전북에서 집중적으로 발생되고 있다.

4) 밭작물 부산물의 현재 이용실태는 대부분 소각처리되고 있으며 보리짚을 극히 적은 양만 퇴비재료로 활용되고 있다.

나. 축산부산물

1) 가축분뇨 발생량은 한우 29,195천톤, 젖소 9,916천톤, 돼지 10,241천톤, 닭 3,548천톤으로 우분뇨가 74%를 점유하고, 우분뇨는 경기·경북·충남·전남에서, 돈분뇨는 경기·충남, 계분은 경기도에서 발생량이 많다.

2) 가축분뇨 중 분처리는 톱밥이나 왕겨 등과 혼합하여 부숙시킨 후 자체퇴비 또는 유기질비료 재료로 전량 재활용되고 있으며, 뇨처리는 일단 정화과정을 거쳐 방류되고 있으나 하천수 오염이 크게 우려되고 있다.

다. 산업체 유기성 폐기물

1) 사업장 유기성 폐기물 발생량은 총 17,299톤/일으로서 그중 폐수처리오니 55%, 동식물성 잔재물 9.6% 순으로 점유하고 있으며, 폐수처리 오니가 36%, 종이류 45%, 동식물 잔재물 63%가 재활용되고, 나머지는 매립 또는 소각처리되고 있다.

2) 유형별 사업장 폐기물은 주정제조, 펄프제조, 물엿·포도당제조, 맥주제조 부산물 순으로 발생량이 많았다.

3) 충남지역 농산물 가공부산물은 년간 과일통조림 및 음료공장에서 나오는 과박 6000톤, 김치공장의 무·배추쓰레기 2340톤, 차류제조부산물 400톤, 식용류의 참깨·들깨박이 118톤 등으로 조사되었으며 이 중 참깨·들깨박은 전량 퇴비재료로 활용되고 있고 사과박은 유기산 함유로 전량매립, 무·배우 쓰레기도 착즙 후 잔여물은 전량 매립되고 있다.

라. 일반 유기성 생활 폐기물

1) 우리나라 생활 폐기물 발생량은 58,118톤/일으로 그중 음식물 채소류가 31%, 종이류가 21%로 가장 많은 비중을 차지하고 있으며 음식물 채소류는 1%, 종이류가 44%가 재활용되고 나머지는 모두 매립 소각된다.

2) 음식물 퇴비화는 최근 많은 관심을 갖고 연구되고 있지만 염분을 함유하고 있기 때문에 획기적인 방안이 제시되지 않고 다만 선별적인 사용방안 (비식용 작물, 임야 등)을 모색해야 할 것으로 판단된다.

제 3 장 미생물제제용 균주의 분리 및 생산

제1절 미생물제제용 우수균주의 분리 및 선정

농축산시설로부터 발생되는 폐기물을 효율적이고도 과학적으로 유기질 비료화하기 위하여 사용할 미생물제제의 개발 및 생산을 위하여 다양한 환경내에 존재하는 우수균주를 스크리닝하였다. 농축산시설의 토양을 비롯한 국내·외의 토양시료와 자연발효과정 중의 퇴비, 그리고 기존의 시판용 미생물제제 등을 대상으로 이들 환경내에 존재하는 다양한 미생물군집의 구조적 특성을 조사하고 이로부터 각 환경내의 우점을 차지하는 균주를 중심으로 세균과 사상균을 분리하였다. 미생물의 탐색은 퇴비제조에 유용하게 사용될 것으로 사료되는 몇가지 생리 생화학적 특성을 대상으로 하여 수행되었으며, 우선적으로 분리된 균주를 특정의 효소의 활성을 관찰할 수 있는 탐색용 평판배지에 배양하여 그 활성이 높은 균주를 선택하였다. 우수균주의 탐색을 위하여 조사된 효소는 lipase (지방 분해효소), pectinase (펙틴 분해효소), protease (단백질 분해효소), amylase (전분 분해효소), cellulase (섬유소 분해효소), β-glucosidase (cellobiose 분해효소), xylanase (목질 분해효소), urease (요소 분해효소), ligninase (리그닌 분해효소) 등이다.

1. 사상균의 분리 및 생리적 특성 조사

톱밥 발효우사 및 산림의 부숙토, 자연 완숙퇴비 등올부터 1차 분리된 80여종의 사상균에 대하여 상기의 9가지 효소 생성능을 조사하였다. 사상균은 주로 섬유소, 목질소, 요소 등의 분해효소를 많이 분비하여 조사된 사상균의 90% 이상이 관련효소를 강하게 분비하였으며, 전분, 단백질, 지질, cellobiose 분해효소를 분비하는 사상균도 85%로, 사상균에서의 이들 분해효소는 한 균주에서 동시에 여러종류의 기능성 효소를 분비하였다. 한편, 리그닌 분해효소를 갖는 사상균은 전체 조사대상 균주 중 20%에 불과하여 리그닌의 분해가 퇴비화에 영향을 미칠 것으로 사료된다. 조사된 균주 중 각각의 효소 활성이 우수한 균주를 10종씩 선별하고, 이들로부터 다양한 물질에 대하여 강한 효소 활성을 가지며 형태적 특성이 뚜렷하여 추후 미생물 천이과정의 탐색에 용이하게 추적될 수 있는 6종의 균주를 선정하였다. 선정된 사상균은 그 형태적 특성으로 분류 동정하였으며 그 결과는 표 3-1과 같다.

선정된 균주는 글리세롤 10% 용액에 포자를 현탁하여 -20℃ 및 -80℃에 보관하며 추후의 실험에 사용하였다.

<표 3-1> 분리 선별된 기능성효소 분비사상균일람

균주	효 소 활 성	특 성	분 류
1-1	Pro, Urea, CMC, Xylan, Amyl, (Fatty, Pec, β-glu)	Grey-brown	*Pseudallescheria boydii*
2-19	CMC, Xylan, Amyl, (Fatty, Pro, Pec, β-glu, Urea)	Pinkish red	*Helicodendron sp.*
3-49	Fatty, CMC, Xylan, Lig, Pec, (Amyl, β-glu, Urea)	Dark green	*Cladosporium cladosporioides*
4-50	Fatty, Pro, Urea, Amyl, (CMC, Xyl, Pec, β-glu)	Black green	*Penicillium duclauxii*
5-70	Fatty, CMC, Xyl, Amyl, β-glu, Urea, (Pro, Lig, Pec)	Pine green	*Aspergillus oryzae*
6-74	CMC, Xyl, Lig, β-glu, (Fatty, Pro, Pec, Amyl, Urea)	Olive green	*Penicillium citrinum*

2. 세균의 탐색 및 보존

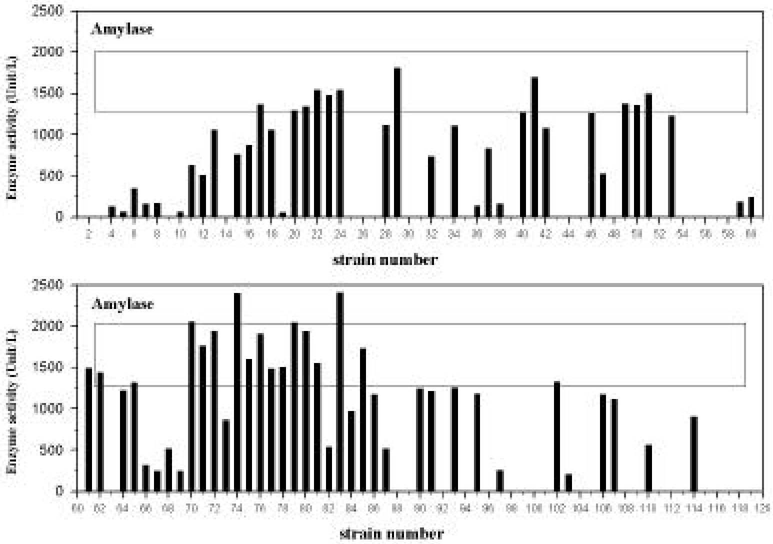
퇴비 제조용 미생물 제제를 생산하기 위하여 축산 시설토양, 원예농업 토양 등으로부터 각각의 시료를 채취하여 평판배지에 도말하여 배양한 후 우점종을 1차로 선발하였고 단일 탄소원을 넣어준 고체배지에 접종하여 형성되는 투명환을 통해 가시적으로 확인한 결과 114 종의 균주를 분리하였다. 분리된 균주의 그람염색 결과 그람음성 세균이 27 종이었으나 그람양성 세균은 87 종에 달하였다. 이는 대상 토양환경 및 시판용 미생물제제에는 대부분 그람양성세균이 포함되어 있으며, 자연퇴비화 과정중에 그람양성세균의 역할이 주도적임을 보여 준다. 선택배지를 사용한 유기물 분해능의 측정결과, amylolytic strain은 분리 균주중 74 종에 달하였으며, cellulolytic strain은 72 종, xylolytic strain과 pectinolytic strain은 각각 59 종과 47 종으로써 cellulolytic strain과 amylolytic strain에 비하여 다소 적었다. 이 밖에 proteolytic activity의 경우는 분리균주의 80 %이상에서 나타났으나, 리그닌의 경우 분리세균 중에서는 그 분해능이 나타나지 않아 발효퇴비화 과정 중에 세균에 의한 리그닌성분의 분해는 거의 기대할 수 없다고 판단되었다. 한편, 고온에 내성이 강하고나 최적배양온도가 50 ℃ 이상의 고온균이 29 종이었고, 나머지는 최적배양온도가 30-37 ℃인 중온균으로 분리균주의 대부분을 차지하였다.

선택배지에서 투명환을 통해 가시적으로 확인한 유기물 분해능을 정량화하기 위하여 114 종 분리균주 각각의 amyalse, cellulase, xylanase, pectinase의 활성도를 진탕배양을 통하여 조사하였다 (그림 3-1, 3-2, 3-3, 3-4).

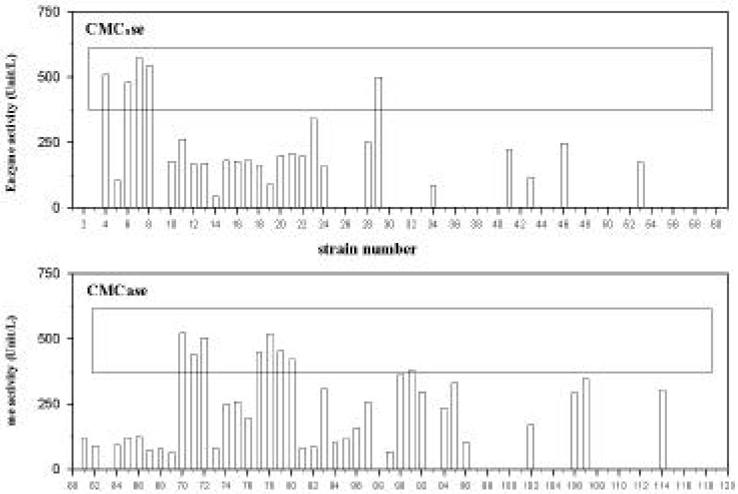
이를 위하여 분리균주를 각각 YPB 액체배지에서 30 ℃, 18 - 20 시간 종균배양한 후, 밀기울 액체배지에 옮겨 기능성 효소의 분비를 유도하면서 30 ℃에서 24 - 72 시간동안 진탕배양하였으며, 각 기능성 효소에 대한 정량적인 효소활성을 DNS법을 이용하여 측정하였다. 그 결과 대부분의 미생물들이 소유하는 amyalse의 activity가 전반적으로 높았으며 16 종의 균주가 배양액 1ℓ당 1500 units이상의 높은 활성을 나타내었다. Xylanase activity의 경우, 대상 59 종의 미생물 중 17 종의 균주에서 500 units이상의 비교적 높은 활성을 보였다. Cellulase 및 pectinase activity의 경우는 각각 500 units, 200 units이상의 효소 활성도를 보이는 6 종, 5 종의 세균이 조사되었다. 조사된 결과에서 보듯이 축분의 자연 퇴비화 과정에서 분리된 균주들 (60 - 85번 균주)이 각각의 효소 활성도가 다른 시료로부터 분리된 균주에 비해 상대적으로 높게 조사되었다. 이 균주들은 축분의 퇴비화 과정중에 채취한 시료에서 선발한 균주로서 이후의 제제용 미생물 선발시 많은 균주가 포함되었다.

이러한 효소 활성도의 정량화 실험을 통하여 효소 활성이 높은 37 종의 균주를 선발하여 동정하였다 (표 3-2). 이들에 대한 동정결과 29 종의 균주가 *Bacillus* 속의 미생물이었으며, 8 종의 미생물만이 *Xanthomonas*, *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Erwinia*, *Corynebacterium* 속의 미생물로 밝혀졌다. 한편, 본 실험에서 분리된 균주들은 이들이 각각 최적의 효소생성조건하에서 배양되지 않았음에도 불구하고 각 효소의 주 생성균으로 조사·연구된 여타의 미생물들에 비하여 효소생성능이 우수하여 미생물제제로서의 가치가 높을 것으로 기대되었다.

또한 이들 균주는 글리세롤 (20%) 저장법으로 장기보존하고, 영양한천배지 (nutrient agar medium)를 사용, 주기적으로 계대하여 보존하였으며, 이를 대상으로 발효공정에 관한 기초연구를 수행하였다.



<그림 3-1> 각 시료로부터 분리된 균주들의 amylase 활성



<그림 3-2> 각 시료로부터 분리된 균주들의 cellulase 활성

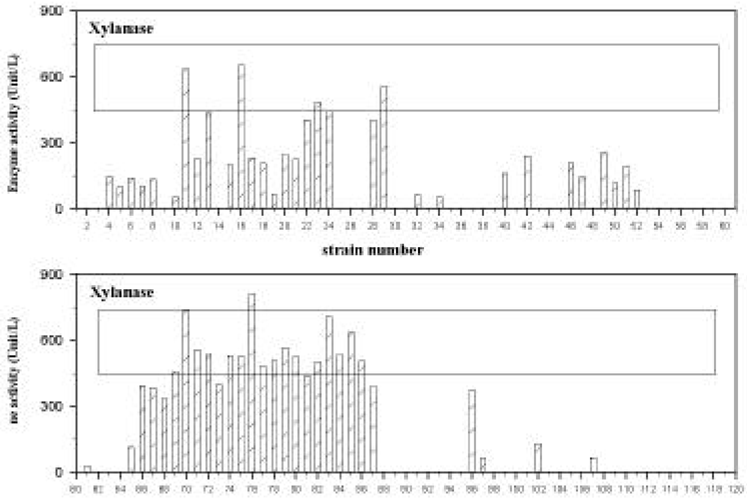
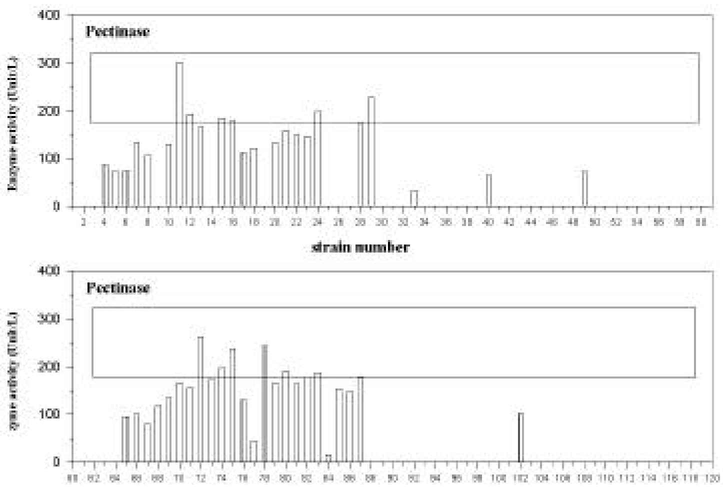


그림 3-3.**각 시료로부터 분리된 균주들의** xylanase **활성**



<**그림** 3-4> **각 시료로부터 분리된 균주들의** pectianase **활성**

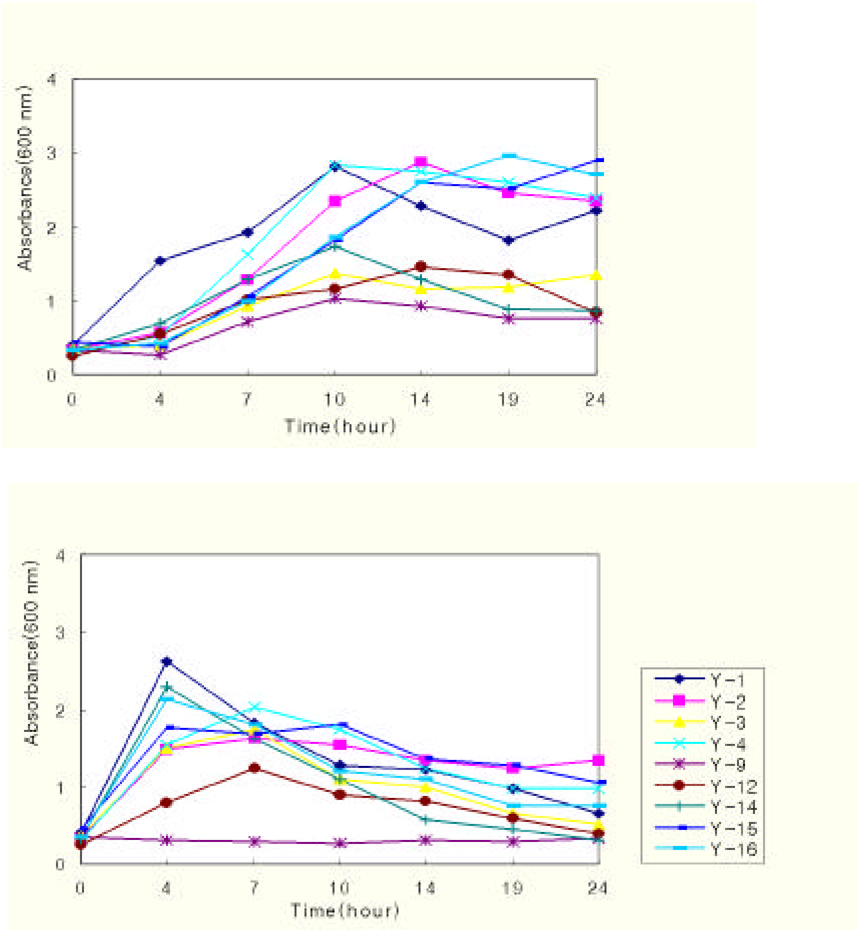
<표 3-2> 분리 선별된 기능성효소 분비 세균 일람

균주	온도 특성	분 류	그람 염색	효 소 활 성
S-4	고온균	*Bacillus subtilis*	+	Lip, CMC, Pro
S-7	고온균	*Bacillus subtilis*	+	Lip, Amyl, CMC, Pro
S-8	중온균	*Bacillus subtilis*	+	Lip, Amyl, CMC, Pro, Xylan
S-12	고온균	*Bacillus pumilus*	+	Lip, Amyl, CMC, Pro
S-14	중온균	*Bacillus subtilis*	+	Lip, Amyl, CMC, Pro, Xylan
S-16	고온균	*Paenibacillus macerans*	+	Amyl, CMC, Pro,Xyl
S-21	중온균	*Bacillus subtilis*	+	Lip, Amyl, CMC, Pro, Xylan
S-22	중온균	*Bacillus pumilus*	+	Lip, Amyl, Pro, Xylan
S-22A	고온균	*Paenibacillus macerans*	+	Not tested
S-23	고온균	*Bacillus amyloliquefaciens*	+	Amy, CMC, Pro
S-29	중온균	*Bacillus subtilis*	+	Lip, Amyl, CMC, Pro, Xylan
S-32	중온균	*Bacillus subtilis*	+	Lip, Amyl, CMC, Pro, Xylan
S-38	중온균	*Bacillus licheniformis*	+	Lip, Amyl, CMC, Pro, Xylan
S-40	중온균	*Bacillus atrophaeus*	+	Lip, Amyl, CMC, Pro, Xylan
S-42	중온균	*Bacillus subtilis*	+	Lip, Amyl, CMC, Pro, Xylan
S-51	고온균	*Bacillus subtilis*	+	Amyl, Pro
S-60	중온균	*Xanthomonas campestris*	−	Amyl, CMC, Pro, Xylan
S-64	중온균	*Bacillus pabuli*	+	Amyl, CMC, Pro, Xylan
S-70	고온균	*Bacillus amyloliquefaciens*	+	Amyl, CMC, Pro, Xylan
S-71	고온균	*Bacillus subtilis*	+	Amyl, Xylan
S-71A	중온균	*Pseudomonas putida*	−	Not tested
S-72	중온균	*Erwinia chrysathemi*	−	Amyl, CMC, Xylan
S-74	고온균	*Bacillus amyloliquefaciens*	+	Amyl, Pro, Xylan
S-75	중온균	*Bacillus coagulans*	+	Amyl, Pro, Xylan
S-76	고온균	*Bacillus subtilis*	+	Amyl, Pro, Xylan
S-78	중온균	*Baciilus coagulans*	+	Amyl, CMC, Xylan
S-79	중온균	*Micrococcus leteus*	+	Lip, Amyl, Pro, Xylan
S-81	고온균	*Bacillus megaterium*	+	Amyl
S-81A	고온균	*Bacillus megaterium*	+	Not tested
S-82	중온균	*Bacillus sphaericus*	+	Amyl, Pro, Xylan
S-82A	중온균	*Corynebacterium aquaticum*	+	Not tested
S-82B	중온균	*Corynebacterium aquaticum*	+	Not tested
S-83	고온균	*Bacillus laterosporus*	+	Amyl, Pro, Xylan
S-83A	중온균	*Bacillus megaterium*	+	Not tested
S-84	고온균	*Bacillus megaterium*	+	Amyl, Pro, Xylan
S-85	고온균	*Bacillus subtilis*	+	Amyl, Pro, Xylan
S-86	중온균	*Bacillus cereus*	+	Lip, Amyl, Pro, Xylan

퇴비화 과정은 50 ℃ 이상의 고온에서 이루어지므로 퇴비용 제제를 생산하기 위한 미생물은 고온에서 활성을 나타내야만 한다. 그래서 동정한 미생물을 대상으로 50 ℃에서 정치배양과 액체배양을 거쳐 고온에서 자랄 수 있는 미생물을 16 종 선발하였다 (그림 3-5). 선발한 16 종의 미생물 대부분이 50 ℃에서 성장하였고 초기에 성장율이 30 ℃에서 배양한 것과 비교하여 높게 조사되었다. 그리고 이 균주들을 대상으로 YPB 배지에서 50 ℃, 8-10 시간 배양 후 밀기울 배지에 접종하여 50 ℃, 14 시간 배양한 후에 amylase, cellulase, xylanase의 효소 활성을 DNS 법으로 정량하였다 (그림 3-6). 그 결과 50 ℃에서 배양한 일부 균주의 경우에 효소 활성이 높은 것이 조사되었고 축분의 발효시 cellulose 성분의 분해가 어려운 점을 고려하여 cellulase activity가 높은 균주를 종균제 생산을 위한 균주로 선발하였다.

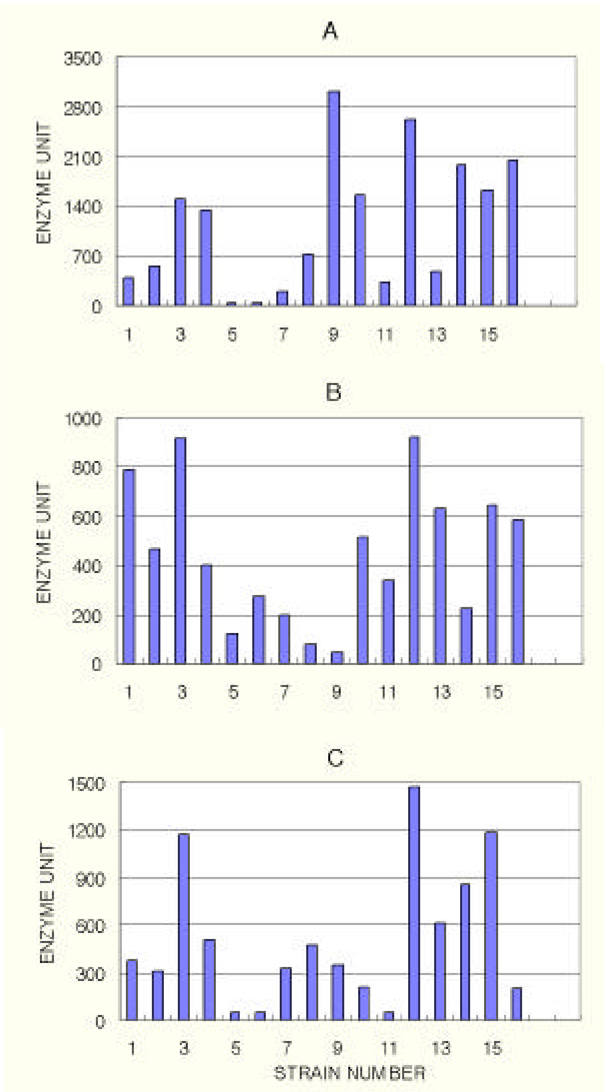
선발된 미생물은 총 4 균주로 *Bacillus subtilis* 3종과 *Paenibacillus macerans* 1종이었다. 선발된 미생물은 모두 *Bacillus* 계통의 균주로서 이들은 다른 균주에 비해 55 ℃이상의 고온에서 활성을 나타내며 유기물을 분해하는 능력이 뛰어났다. 이러한 결과는 발효가 진행 중인 토양내에 존재하는 미생물의 상당수가 *Bacillus* 속이며, 이들의 유기물 분해능이 다른 미생물에 비해 높다는 보고 (Berkeley 등, 1984)와 일치한다 .

퇴비화 전 과정은 30 ℃ 근처에서 발효가 시작되어 50 ℃이상의 고온단계를 갖는 중온-고온-중온 단계로 진행되므로 선발된 4 종류의 균주를 30, 40, 50 ℃의 온도에서 각각 진탕배양을 수행하여 성장곡선을 조사하였다 (그림 3-7). *B. subtilis* Y-1과 *B. subtilis* Y-3의 경우는 각 30, 40, 50 ℃의 범위에서 성장율이 큰 차이가 보이지 않았으나 *Paenibacillus macerans* Y-12와 *B. subtilis* Y-16의 경우는 초기부터 배양 온도가 높을수록 생장이 높게 나타났다. 균주의 생장을 고려하여 네가지 균주중에서 *B. subtilis* Y-3를 제외한 세 균주를 이용하여 발효공정 실험을 수행하였다.



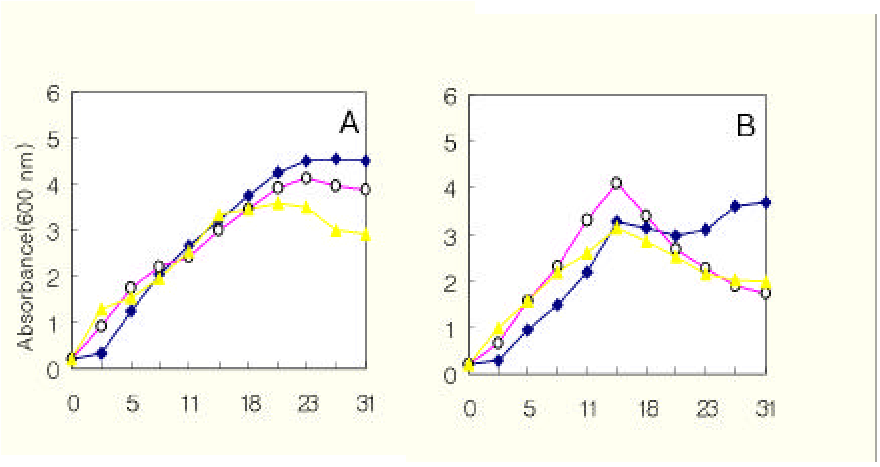
<그림 3-5> 온도에 따른 분리균주의 성장률 비교

(위,30 ℃; 아래, 50 ℃)

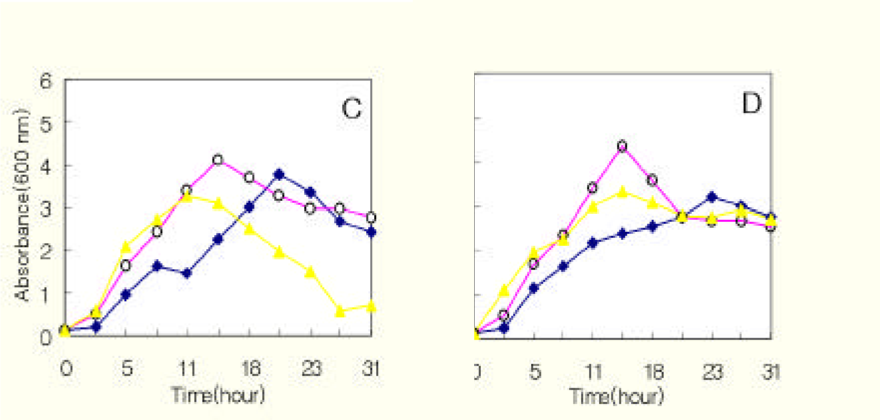


<그림 3-6> 분리균주의 50 ℃에서의 효소활성 비교

A, amylase; B, cellulase; C, xylanase



A
B
Absorbance(600 nm)
0
1
2
3
4
5
6
0
5
11
18
23
31



<그림 3-7> 선발된 우수균주의 온도에 따른 성장률 비교

A, *E.subtilis* Y-1; B, *E.subtilis* Y-3;

C, *P.macerans* Y-12; D, *E.subtilis* Y-16;

(◆, 30 ℃; ○, 40 ℃; △, 50 ℃)

제2절 미생물제제 제조를 위한 발효공정

1. 혼합 미생물제제의 효능조사

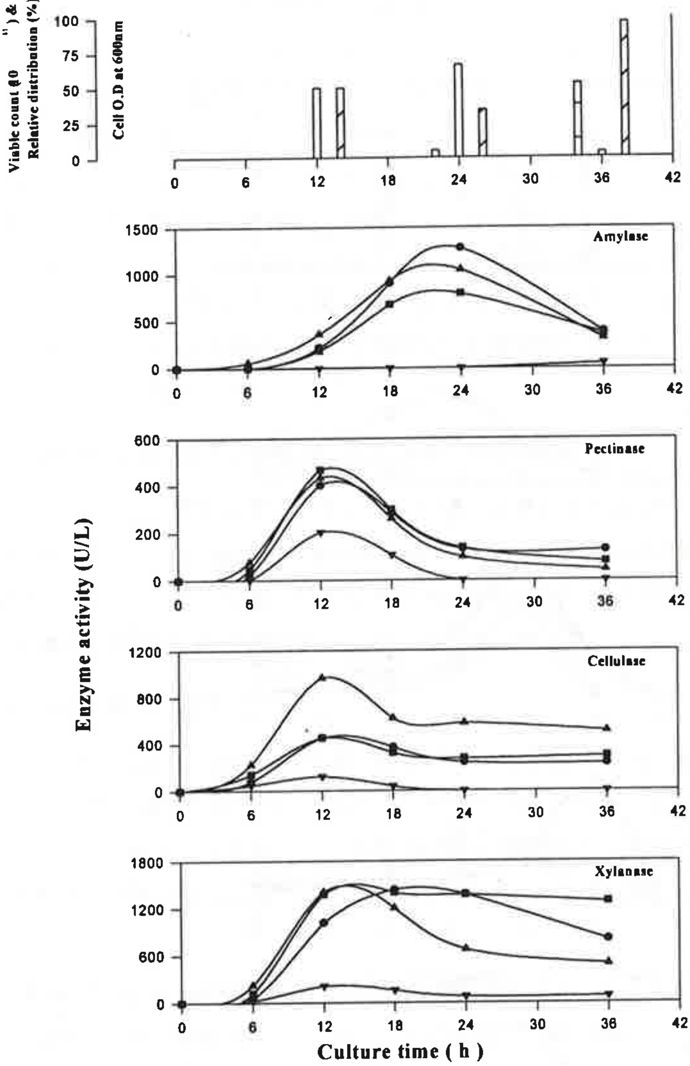
미생물제제 제조를 위한 발효공정의 기초조사 결과는 분리균주 각각을 밀기울 액체배지에 단독배양하여 얻은 결과로 각 균체의 생리, 생태학적 특성과 최적 생장 및 효소활성을 위한 배양학적 조건을 확립할 수 있었다. 그러나, 분리균주가 실제 대상 토양 또는 퇴비에 존재하는 토착미생물군집 속에 투여될 때, 이들과의 상호작용 또는 분리주 개개의 생리적 활성도가 실험실조건에서와 동일하게 반영될 지의 여부를 일단 고려하여야 한다. 또한 미생물제제의 제조를 위해 선발된 우수균주들이 혼합배양될 때, 각각의 분리 균주사이의 상호작용 및 그 생리적 활성의 변화양상을 조사하여야만 대량생산체제 구축과 생산될 미생물제제의 효능 평가를 올바르게 할 수 있

다. 따라서, 발효공정의 기초조사를 통해 얻어진 분리균주 개개의 세포생장 및 생리적 활성도를 토대로 분리주의 특성을 고려하여 가능한 여러개의 조합으로 3-10 가지의 분리주를 혼합배양하면서 그 변화를 조사하였다.

YPB 액체배지에서 종균배양한 후, 밀기울 액체배지에 접종하여 30시간 동안 배양하면서 일정시간 간격으로 각 분리주의 세포생장 및 기능성효소(섬유질, 목질, 녹말, 펙틴 분해효소 등)의 활성변화를 조사하는 동시에 각 미생물의 생균수를 연속희석도말법을 통해 측정함으로써 배양시간에 따른 군집의 변화양상을 관찰하고 전체 미생물의 균체량 및 효소활성을 조사, 비교하므로써 균주간 상호작용을 조사하였다 (그림 3-8).

전체 미생물의 생장곡선은 유도기 및 대수기와 정체기 그리고 사멸기로 대별되는 일반적인 미생물의 생장곡선에 준하는 결과를 관찰할 수 있었다. 그러나, 배양초기에는 비교적 유사한 우점도를 보이지만 배양후기에는 특정미생물이 절대적인 우점을 차지함이 관찰되었다. 이는 특정한 배양환경에서의 서로 다른 비생장속도에 기인된 결과로 판단된다. 또한, 일부의 분리균주의 경우는 배양중기에 잠시 증식되다가 배양말기에 급격히 감소되는 양상을 보이기도 하는데 이는 배양시간에 따라 지속적으로 변화되는 영양환경에 따른 결과로 생각된다.

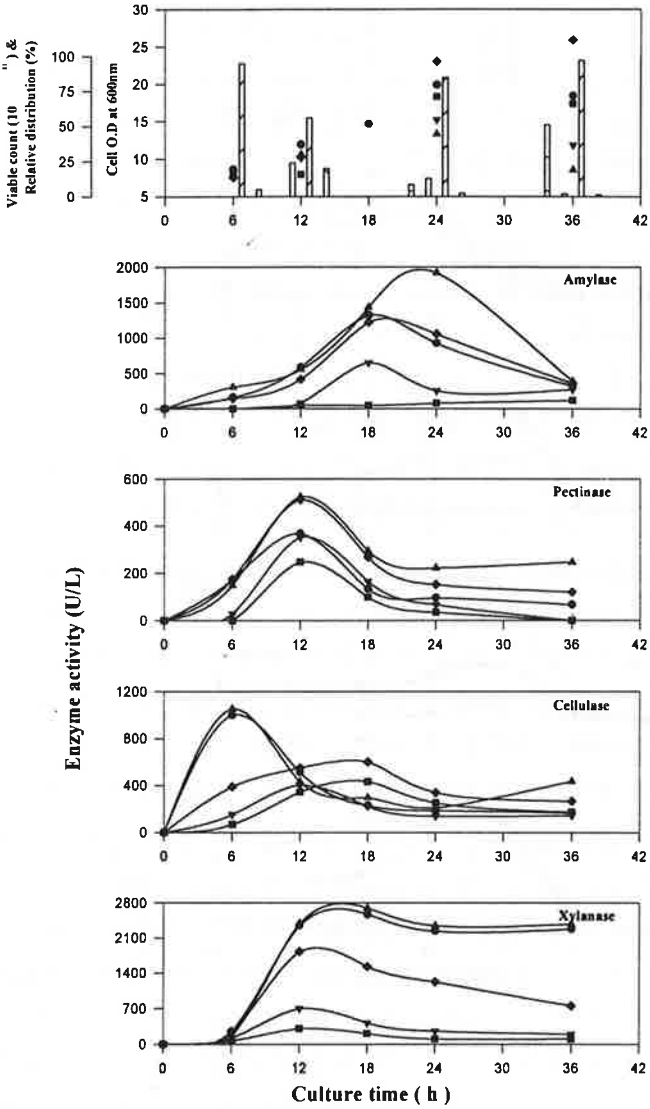
각 기능성 효소의 활성도에서는 특정효소의 활성이 높은 균주의 조합일 경우 각 균주의 효소활성도의 합을 그대로 반영하지 못하며 혼합배양액 내



<그림 3-8-1> 분리된 우수균주의 혼합배양시 효소활성도 변화

●, 혼합배양; ▽, *B. subtilis* Y-1;

▼, *B. subtilis* Y-3; □, *P. macerans* Y-12;



<그림 3-8-2> 분리된 우수균주의 혼합배양시 효소활성도 변화

●, 혼합배양; ▽, *B. subtilis* Y-3; ▼, *B. subtilis* Y-4;

□, *B. amyloliquefaciens* Y-9; ■, *P. macerans* Y-12

도와 유사하였다. 이는 일정 배양환경내에 존재하는 기질이 제한되어 있고 따라서 각 균주가 단독배양에서와 같이 더 많은 효소를 분비하지 않음으로써 나타난 결과이다. 이와같은 측면에서, 각기 다른 효소의 활성도가 높은 균주를 조합하여 혼합배양한 경우는 여러 효소의 활성도가 각 균주가 갖는 최대 효소활성도가 그대로 반영되어 여러 기능성효소의 활성도가 모두 높게 나타났다. 따라서, 여러 기능성효소를 분비하는 미생물의 조합보다는 특정효소의 효소활성이 큰 균주들의 조합이 발효퇴비화에 사용될 미생물제제에 유용할 것으로 믿어졌다. 다만, 특정 배양환경내에서 서로 다른 생장속도에 의하여 생장속도가 빠른 미생물들이 우점을 차지하는 문제가 남게 되지만 이는 추가적인 발효공정연구와 발효퇴비화 과정중의 투여시기를 조절함으로써 해결될 수 있다.

2. 미생물제제 제조를 위한 발효공정 기초연구

다양한 토양환경으로부터 분리 동정된 미생물을 대상으로 이들의 생리생태학적 특성과 각 기능성 효소의 분비능 및 이들의 최적 생장환경에 관한 발효공정의 기초조사를 수행함으로써 혼합배양 및 대량배양시 배양효율의 극대화를 꾀하고자 하였다.

가. 사상균의 발효조건

사상균은 세균과 달리 포자를 형성하며 미생물제제의 제조시 포자를 사용하므로, 제제를 대량으로 제조하기 위해서는 상당한 노동력을 필요로 한다. 따라서 이를 극복하고자 실험실적인 조건에서 통상적으로 사용하는 고체배지를 사용하여 배양하는 방법을 지양하고 발효기를 사용하고자 하였다.

선정된 6 종의 사상균 중 *Penicillium* 속 균주 2 종을 제외한 모든 균주는 150rpm으로 진탕배양 6-7일에 구슬모양의 균사체 덩어리 내부에 다량의 포자를 형성하였다. 포자형성의 정도를 조사하였는데 균사체 덩어리 1 그람 (wet weight)에 10^{12}-10^{14} 정도의 포자를 함유하여 비교적 수율이 안정적이었다. 균사체 덩어리를 형성하지 않는 2종의 사상균은 포자를 10^{8} 정도만을 형성하였다. 이들 2종의 *Penicillium* 균이 분비하는 효소 활성이 다른 4종의 사상균에 비하여 매우 강력하므로 발효기를 사용한 액체배양방법을 개량하고자 하였으나, 발효조건의 변화, 사용배지조성의 변화 등에 따른 변화가 효과적이지 못하였다.

따라서 사상균의 대량배양을 위한 색다른 방법이 고안되었는데, 이러한

방법은 실제 미생물제제 생산 공정에서 실험의 편이성 및 경제성을 고려하여 운용되고 있는 방법을 약간 수정하여 사용하였다. 우선적으로 세균이나 타 잡균의 오염을 방지하기 위하여 고체배지에서 일주일 배양하여 수확한 포자를 1L의 액체배지에서 일주일 배양한 뒤 얻어진 균사체를 homogenizer로 균질화하여 이를 밀기울 및 쌀겨가루와 혼합하여 배양하였다. 밀기울 및 쌀겨는 정미소에서 출하되는 조분말상태를 사용하였으며, 사상균 균사체와 혼합시 배양을 촉진하기 위하여 1%의 멸균 설탕 용액을 함께 사용하였다. 사상균 균사체와 혼합된 밀기울을 넓적한 사각통에 2-3㎝ 두께로 깔아 25℃ 항온실에서 배양한다. 상기 조건에서 균사체 및 포자는 수시간 내에 발아를 시작하여 3일 정도면 과량의 포자를 형성하였다. 배양이 끝난 사상균 배양체는 포자의 균일한 분산을 위하여 0.02%의 tween 80 용액을 최종 수분함량이 70%가 되도록 첨가하며 멸균된 질석과 함께 mixer로 혼합하여 최종 제제로 사용하였다.

나. 세균의 발효조건

각 선발균주를 대상으로 물리화학적인 최적배양환경을 조사하기 위하여 배양온도는 25 - 50℃, 배양액의 산도는 pH 5-9 까지 다양하게 조절한 YPB 액체배지에서 36시간 배양하여 각 분리주의 생장양상을 조사하였다. 그 결과, 배양온도의 경우, 대부분 최적온도가 37 ℃로서 분리 선발된 균주의 대부분이 중온균이었다. 배양 산도의 경우는 호산성과 중성, 그리고 내알카리성의 균주가 고루 분포되어 있었으며, 특히 호산성 또는 내알카리성 균주의 경우에도 알카리 또는 산성산도에서 폭넓은 내성을 지니고 있음이 밝혀져 이들이 발효퇴비화 과정중의 산도변화에 따라 크게 영향받지 않고 발효퇴비내에 존재하여 분해과정에 작용할 수 있으리라고 판단되었다.

위의 결과를 바탕으로 YPB 액체배지에서 18 - 20 시간동안 종균배양한 후, 배양온도는 37 ℃로 설정하고 배양 pH는 6.5로 조절한 밀기울 액체배지에 접종하여 36시간동안 배양하면서 6시간 간격으로 세포생장과 각 기능성 효소의 분비 및 그 활성도를 조사하였다. 표 3-3은 조사된 균주 중 선발된 4 가지 균주 (*Bacillus subtilis* Y-1, Y-3, Y-16 및 *Paenibacillus macerans* Y-12)의 생장특성을 나타낸 것이다. 각 기능성 효소의 활성은 세포생장이 유도기를 지나 대수기로 접어들면서 증가하기 시작하여 시간에 비례하여 증가하였다. 그러나, 각 기능성 효소의 활성이 최대에 이르는 시간은 효소에 따라 다양한데 녹말분해효소의 경우는 배양 24 시간만에 최대치 (1500-2000 Units/ℓ)에 이른 후 급격히 감소하여 배양말기에는 최대치

의 20-30% (200-400 Units/ℓ) 수준으로 감소되었다. 섬유질과 목질, 그리고 펙틴 분해효소의 경우도 역시 세포가 대수기로 접어들 때 분비되기 시작하여 시간에 따라 증가되지만, 이들 효소는 균주에 따라 12-18 시간에 최고의 활성을 보인 후 감소되는 양상을 보였으며, 대체로 xylanase의 경우는 다소 감소하는 경향을 보이긴 하지만 배양말기에 이르기까지 최고치에 준하는 효소활성을 나타내었다. 이 밖에 xylanase 및 섬유소분해효소 (400-800 Units/ℓ)에 비하여 녹말분해효소의 활성이 크게 높았으며, 펙틴 분해효소의 활성은 전체적으로 볼 때, 200 Units/ℓ 수준으로 상대적으로 매우 낮은 수준이었다. 또한, 밀기울 액체배지에서의 각 분리 균주의 세포 생장속도 또는 최대치에 이르는 생체량은 매우 다양하게 나타났다.

<표 3-3> 선별된 세균의 배양 중 효소 활성의 변화

[*Eacillus subtilis* Y-1]

배 양 시 간	0	6	12	18	24	36
흡광도(600nm)	0.5	6.6	7.2	-	17.3	14.9
효소 활성도 (Units/ℓ)						
녹말분해효소	0.0	0.0	46.7	55.0	77.0	119.5
펙틴분해효소	0.0	0.0	207.4	88.4	0.0	0.0
섬유질분해효소	0.0	42.4	242.6	168.9	87.4	46.9
목질분해효소	0.0	49.4	258.6	326.8	106.0	107.0

[*Paenibacillus macerans* Y-12]

흡광도(600nm)	0.5	8.0	8.0	12.7	18.3	17.4
효소 활성도 (Units/ℓ)						
녹말분해효소	0.0	0.0	44.7	60.9	75.8	118.3
펙틴분해효소	0.0	0.0	247.7	122.5	35.6	0.0
섬유질분해효소	0.0	68.8	345.0	303.2	253.3	174.9
목질분해효소	0.0	68.0	305.6	412.5	105.2	104.0

[*Eacillus subtilis* Y-3]

흡광도(600nm)	0.5	7.9	8.3	-	19.9	16.2
효소 활성도 (Units/ℓ)						
녹말분해효소	0.0	0.0	0.0	22.5	63.6	120.5
펙틴분해효소	0.0	0.0	169.9	53.1	0.0	0.0
섬유질분해효소	0.0	58.4	175.2	262.5	249.5	182.2
목질분해효소	0.0	30.9	258.4	321.0	101.6	89.1

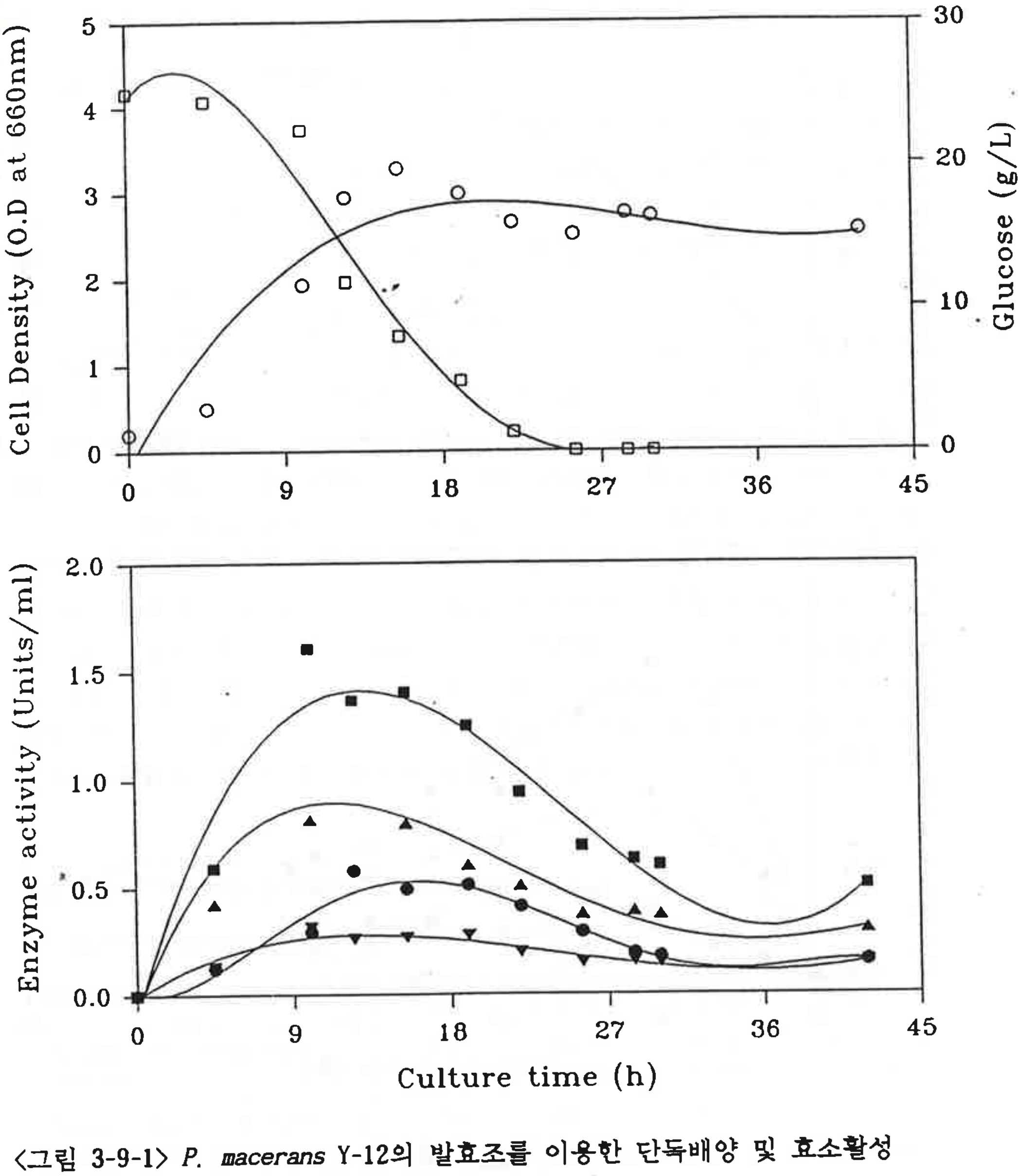
[*Eacillus subtilis* Y-16]

흡광도(600nm)	0.5	7.8	10.6	-	13.4	8.6
효소 활성도 (Units/ℓ)						
녹말분해효소	0.0	307.7	558.0	1437.0	1925.4	392.0
펙틴분해효소	0.0	149.5	525.7	295.4	223.0	247.4
섬유질분해효소	0.0	1056.0	433.7	299.5	210.0	436.7
목질분해효소	0.0	68.0	305.6	211.4	105.2	104.0

한편, 선별균주를 대상으로 한 발효조를 이용한 단독배양에서도 유사한 결과가 나타났다 (그림 3-9-1 및 그림 3-9-2). 균체의 생장속도는 매우 높아 배양 12시간을 전후 최대균체량에 이른 뒤 점차 감소하는 양상을 보이는데 생장 중에 점액성의 다당류 물질의 분비가 매우 많음을 알 수 있었으며, 동시에 내생포자를 형성 (sporulation)함을 관찰할 수 있었다. 이와 같은 이유로, 이 시기 이후에 더 이상의 효소활성의 증가는 관찰되지 않았다. 각 기능성 효소의 활성에 있어서의 변화 양상을 살펴보면, amylase 와 xylanase의 경우 배양초기 미생물의 생장이 대수기로 접어들면서 효소활성이 급격히 증가되어 대수기후기에 최대치에 이른다. 이에 비하여 cellulase의 경우는 대수기 중반에 유도되기 시작하여 세균의 생장이 정체기에 진입하기까지 효소활성이 증가 또는 유지됨을 알 수 있었다. 이는 섬유질이 다른 영양원에 비하여 비교적 이용되기 어렵기 때문에 나타나는 현상으로 보여진다. 이 경우 효소의 활성은 대략 300 700 Units 정도로 amylase나 cellulase에 비하여 30 50% 에 해당하는 활성을 보였다. Pectinase의 경우는 그 활성도 자체는 매우 낮지만, 배양 전기간에 걸쳐 비교적 일정한 활성 (100 300 Units)이 지속되었다. 이러한 균주간 생장 격차는 발효퇴비화 과정에 투여될 미생물제제의 구성시 각 균주의 기능성 효소활성도와 더불어 고려되어야 할 사항으로 여겨졌다.

3. 미생물제제의 개량 및 기능향상 모색

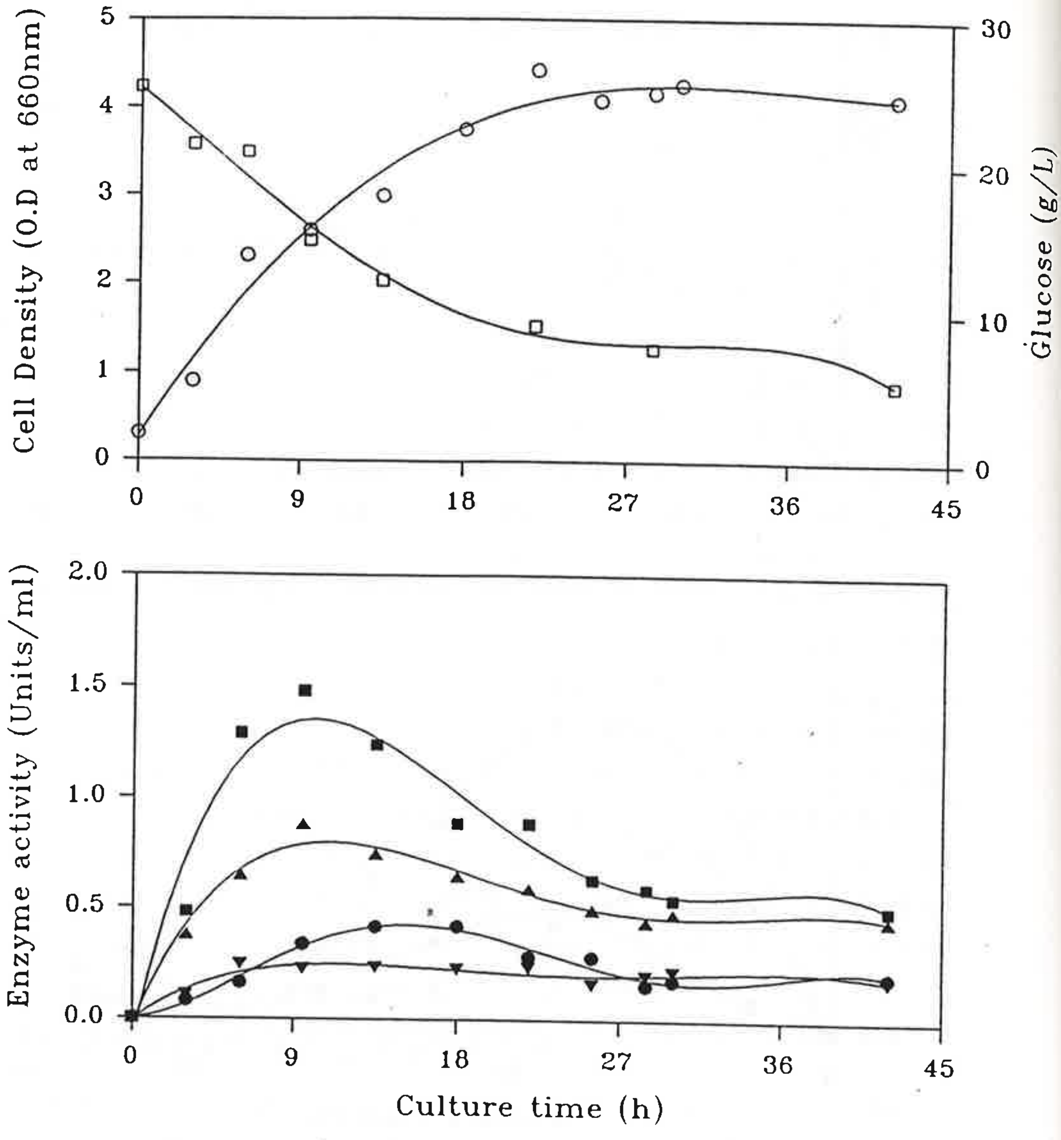
선정된 퇴비제조용 종균을 대상으로 퇴비화 과정의 추적실험을 행하였다. 사용된 종균 중 1차 발효를 진행하는 동안 사용된 2종의 고온성 세균 및 2종의 사상균만이 퇴비화가 진행되는 동안 지속적으로 생존, 퇴비화와 관련된 효소 활성을 나타내었다. 1차 발효시 온도의 상승은 사용된 미생물제제의 성분조성에 따라 약간의 차이가 있었으나 대부분 45℃를 넘어 60℃ 정도의 온도를 유지하므로 고온성 미생물이 유리하였다. 사용된 세균은 고온성으로 발효기간동안 군집의 변이가 별로 없었으나, 선정된 6종의 사상



<그림 3-9-1> *P. macerans* Y-12의 발효조를 이용한 단독배양 및 효소활성

○, cell density; □, glucose; ■, amylase; ●, cellulase;

▲, xylanase; ▼, pectinase



<그림 3-9-2> *B. subtilis* Y-16의 발효조를 이용한 단독배양 및 효소활성

○, cell density; □, glucose; ■, amylase; ●, cellulase;

▲, xylanase; ▼, pectinase

정도의 온도 상승으로도 사멸되었다. 추적실험의 결과 지속적으로 존재하는 2종의 사상균은 초기에 첨가된 균락의 약 5% 정도만이 1차 주발효기간 동안 생장을 유지하고 있었으며, 이들은 이후의 퇴비화 과정중 균락의 수의 변화를 크게 보이지 않았다.

따라서, 이들 내열성을 보이는 2 종의 사상균 (*Pseudallescheria boydii*, *Rhodotorula rubrum*)을 대상으로 개량조건을 조사하였다. 2종의 사상균은 그 생장과정 중 완전세대를 지내기도 하는 자낭균류로 자낭포자 혹은 자낭 상태로 존재할 경우 일반 포자 혹은 균사에 비하여 고온에 대한 내성을 나타낸다.

조사된 조건은 온도 내성 및 발아속도이고, *Pseudallesheria boydii*의 경우 자낭과 자낭포자에 대하여 각각의 특성을 조사하였다 (표 3-4). 자낭포자에 비해 자낭을 사용하는 경우가 온도에 대한 내성이 높았으나 발아속도는 느렸다. 이들 내열성 사상균의 자낭포자의 효소활성은 포자, 혹은 균사를 사용하였을 때와 별 차이가 없었다. 효소의 활성은 균사의 생장에 따라 나타나므로 일반포자와 자낭포자에 있어 생장은 동일하므로 효소활성에 별차이를 발견할 수 없었다. 그러나, 퇴비화에 사용될 경우, 동일한 균체량을 사용할 경우 1차 주발효과정 중 생존률이 높으므로, 퇴비화 과정중 토양내 효소 활성은 1차발효가 끝난 후 자낭포자가 발아를 시작하여 생장을 개시하면 일부 증진되므로, 균사 혹은 일반포자를 사용하였을 경우에 비하여 후발효기간 중 효소활성이 높게 나타났다.

<표 3-4> 사상균의 온도내성 및 발아속도 (% remained)

	28℃	37℃	45℃	55℃
Rhodotorula rubrum	100 % (1 day)	97 % (1.5 day)	52 % (3.5 day)	33 % (5 day)
Pseudallescheria boydii (Ascus)	99% (1 day)	99 % (1 day)	83 % (2.5 day)	50 % (4.5 day)
Pseudallescheria boydii (Ascospore)	100% (1.5 day)	100 % (2 day)	75 % (3 day)	43 % (5 day)

한편, 미생물제제의 효용성은 외부환경 변화에 대한 미생물들의 안정성과 생리적 활성에 크게 의존하므로, 분리 선별된 미생물이 보다 가치를 지니기 위해서는 균주본래의 생리적 활성을 향상시키고, 그 기능의 안정성을

유지시키는 것이 중요하다. 이러한 관점에서 앞서 선별된 균주의 개량을 위한 시도를 하였다. 변이주를 획득하기 위한 돌연변이 유발원으로는 자외선 및 NTG (N-methyl-N'-nitro-N-nitrosoguanidine)을 처리하여 앞서 선정된 미생물을 대상으로 평판 배지상에서 생리적 활성이 높은 변이주를 선별하였다. 변이주의 선별은 배지내에 단일 탄소원으로 전분 (starch), 섬유질 (cellulose), 단백질 (protein; skim milk), 목질 (xylan) 성분을 넣어주고 각각의 미생물을 접종하여 배양한 후 형성되는 투명환의 상대적 크기와 투명도를 모균주와 비교하여 모균주보다 우수한 변이주를 선별하였다. 각각의 탄소원에 대하여 100여주의 시험균으로부터 5종씩의 우량변이주를 선별하여 해당 탄소원이 함유된 액체배지에서의 효소활성을 조사하였다. 선택된 변이주는 평판배지상에서 모균주에 비해 1.5배 이상의 투명환을 형성하였는데, 액체배양 중의 효소활성은 다양하였다 (120% - 250%). 이들 중 각각의 실험배지에서 가장 높은 효소활성을 보이는 변이주를 선정하여 퇴비제조과정에서의 효소활성의 변화를 관찰하였다. 전분 및 단백질의 분해능은 세균의 변이주에서 우수하였으며, 섬유소 및 목질소의 분해능은 사상균의 변이주에서 우수하였다. 그러나, 세균의 경우 전분분해능이 우수한 균주로 선발되었다 하여도 균주의 특성상 단백질 분해능도 일부 나타내었으며, 단백질 분해능 우수 균주에서도 동일한 양상을 나타내었으며, 사상균의 경우는 섬유소, 목질소 뿐만 아니라 전분, 단백질의 분해능도 동시에 함유하였다.

사료첨가제는 독성이나 병원성이 없는 미생물을 사용하는 것이 우선적이다. 앞서 분리·조사된 10 여종의 미생물 중 세균은 *Lactobacillus acidophilus*, *L. planatum*을, 효모는 *Saccharomyces cerevisiae*, 사상균은 *Aspergillus oryzae*를 사료첨가용 제제로 최종 선택하였다. 세균과 효모는 배양후 동결건조 하였으며, 사상균은 포자만을 수확하여 사용하였다.

한편, 사료첨가제의 기능성의 향상을 위하여, 대상가축의 장내에서 분리된 미생물이 적합할 것으로 사료되어, 건강한 어린 송아지의 분을 채취하여 유용 장내 미생물을 분리하고자 하였다. 사람의 경우 장의 기능이 약하여 설사 등이 잦은 유아의 변에서 분리한 *Eifidobacterium* 및 *Lactobacillus* 균주를 요구르트나 기타 제제화하여 지속적으로 투여하면 장의 기능이 향상된다는 보고 (Benno 등, 1995)가 있다. 다양한 미생물군 중 *Eifidobacterium* 및 *Lactobacillus* 균주를 선택적으로 분리하여 MRS 배지와 SL 배지에서의 배양속도를 조사하여 최종적으로 자람성이 우수한 *L. acidophilus* 균주를 선정하여 앞서 선택한 *L. lactis* 및 *S. cerevisiae*, *A. oryzae* 등과 함께 사용하였다.

제3절 미생물제제의 효율적 생산체제 구축

1. 개발된 미생물제제의 경제적 생산체제 구축

농축산 시설로부터 발생되는 폐기물을 미생물에 의해 더욱 더 효과적으로 속성 분해하여 시설원예 단지에 이용할 수 있는 유기질 비료로 만들기 위하여 미생물 제제화 작업을 수행하였다. 퇴비화 과정중 속성발효 퇴비를 생산하기 위해 50 ℃ 이상의 고온단계가 필수적인데 이러한 고온발효시 사실상 중온균의 경우에는 대부분 사멸하므로 고온에서 유기물 분해능이 높은 고온균의 분리는 중요하다 (Finstein 등, 1985). 따라서 미생물 제제화를 위한 후보 균주로서 과제수행을 통하여 분리한 바 있는 180 여종의 균주를 대상으로 각각의 효소역가 조사를 수행한 뒤 유기물 분해능이 뛰어난 37종의 균주중에서 고온에서 활성을 갖는 16종을 선발하였다. 이렇게 선발된 16종의 균주 중에서 50 ℃에서 유기물 분해능이 월등한 5종의 균주를 최종 선택하였다. 선발된 균주들의 최적생장온도와 고온에서의 효소역가 조사를 수행하였다. 5 종의 균주 중 본 미생물 제제화 실험에는 *Bacillus subtilis*와 *Paenibacillus macerans*를 사용하였고, 이외에 광합성세균 *Rhodopseudomonas* sp.를 병용하였다.

사료 첨가용 제제로 이용하기 위해서는 소의 위속에서와 같은 혐기적 조건에서 생리활성을 보일 수 있고 배설이 된 후에 호기적 조건에서도 분변을 효과적으로 분해할 수 있는 미생물을 선택하여야 한다. 따라서 *Lactobacillus acidophiles*와 *Lactobacillus plantarum*을 혐기적 조건에서 분리하여 생리적 특징과 유기물분해능을 조사한 결과 소의 위 속에서 생리활성을 보이고 강장제로서 작용하여 소의 비육을 촉진시키는 *Lactobacillus plantarum*도 제제화에 이용하였다.

미생물제제용으로 선별된 각 균주의 배양조건, 생리적 특성을 바탕으로 미생물을 대량배양하기 위한 배양공정기술을 확립하기 위한 실험을 수행하였다. 특히 본 연구에서는 농민단체 또는 단위농협 수준에서 최소한의 설비와 생산비로 미생물제제를 생산할 수 있도록 배지 및 기타 첨가물의 원료비를 낮추고 배양공정을 간편화하여 경제성을 제고시킬 수 있는 생산체제의 구축에 주력하였다. 분리된 균주의 분류적, 생리적 특성을 감안하여 선택한 배지의 조성과 배양조건은 표 3-5와 같다.

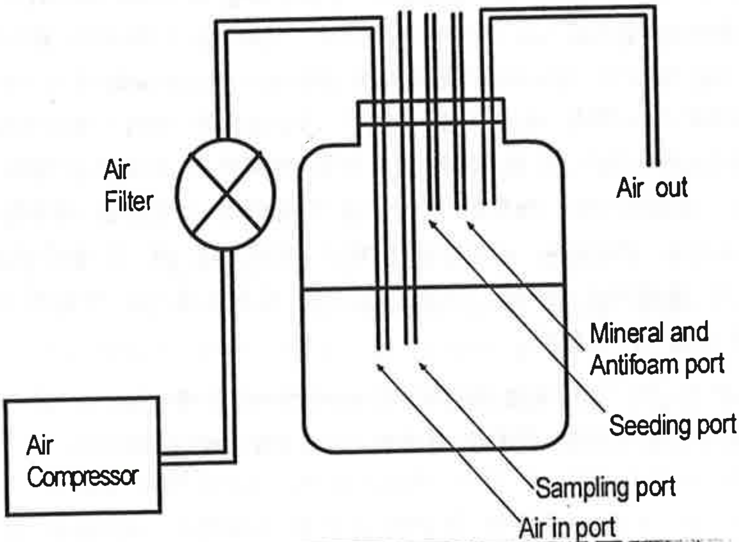
<표 3-5> **미생물 대량배양을 위해 사용된 배지의 조성 및 배양조건**

균 주	배지조성 (per 1 L DW)	배양조건
Bacillus subtilis, *Paenibacillus macerans*	Glucose, 20 g Yeast extract, 4 g $(NH_4)_2SO_4$, 2 g Na_2HPO_4, 1.7 g KH_2PO_4, 1 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0.1 g $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, 10 mg $CaCl_2 \cdot 7H_2O$, 20 mg Trace element*, 2 ml	진탕배양, 35-45 ℃, pH 7.0
Rhodopseudomonas sp.	Sodium-L-glutamate, 3.8 g DL-malic acid, 2.7 g KH_2PO_4, 0.5 g K_2HPO_4, 0.5 g $(NH_4)_2HPO_4$, 0.8 g $MgSO_4$, 0.2 g $CaCl_2$, 53 mg $MnSO_4$, 1.2 mg Nicotinic acid, 1 mg Tiamine-HCl, 1 mg Biotin, 0.01 mg	진탕/조도배양, pH 6.8, 30 ℃
Lactobacillus plantarum *L.acidophilus*	peptone, 10.0 g beef extract, 10.0 g yeast extract, 5.0 g glucose, 20.0 g tween 80, 1.0 mℓ K_2HPO_4, 2.0 g sodium acetate, 5.0 g triammonium citrate, 2.0 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0.2 g $MnSO_4 \cdot 7H_2O$, 0.2 g	혐기적 배양 (정체배양), 30 ℃, pH 6.2-6.6
Saccharomyces cerevisiae, *Aspergillus oryzae*	K_2HPO_4, 1 g $MgSO_4$, 0.5 g Yeast extract, 10 g	진탕배양, 30 ℃, pH 7.0

* Trace element (per 1 L DW): $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, 200 mg; $MnCl_2 \cdot 4H_2O$, 60 mg; H_3BO_4, 600 mg; $CoCl_2 \cdot 6H_2O$, 400 mg; $NiCl_2 \cdot 6H_2O$, 40 mg; $CuSO_4 \cdot 4H_2O$, 20 mg; $NaMo_4 \cdot 2H_2O$, 60 mg

먼저 상기한 배지를 이용하여 각 균주를 삼각플라스크에서 종균배양

먼저 상기한 배지를 이용하여 각 균주를 삼각플라스크에서 종균배양(seed culture)한 후 자체 설비한 간이발효조(배양기)에 접종 (접종량은 3-5% 수준)하여 본배양하였다. 본배양은 항온실에서 수행하였으며, 본배양을 위하여 사용된 배양기는 생산비를 최소화하기 위해서 발효조를 모형으로 시중에 유통되는 25 L 물통을 이용하여 제작하였다 (그림 3-10).



〈그림 3-10〉 자체 제작된 간이발효조의 모형도 및 실제 사진

경우 20 L 까지 배양이 가능하며 배양 전에 고압습윤멸균을 수행하여도 용기에 변화가 없는 재질로 만들어진 것을 이용하였다. 선발된 미생물 중 산소를 필요로 하는 호기성 세균의 경우에는 대량배양시에 산소의 공급이 대단히 중요하므로 air compressor를 연결하여 배양액의 교반 및 산소를 공급하여 폭기를 원활하게 해줄 수 있도록 하였다. 또한 배양도중에 부족한 영양원과 미네랄의 첨가 및 미생물의 생장상태를 monitoring 하기 위하여 배양기 뚜껑에 몇개의 port를 연결하였다. 이와 같이 제작된 배양기는 개당 20,000원 정도의 설비비가 소요되었으며 air compressor에서 나온 공기를 분지하여 여러개의 배양기에 공급이 가능하도록 설치·제작하였다. 반면에 *Lactobacillus* spp.의 경우에는 동일 배양기서 산소공급 없이 정치배양하였다. 이렇게 자체 제작한 배양기를 이용하여 미생물을 배양할 경우에 기존에 고가로 판매되는 발효기에 비하여 배양액내 pH 및 용존산소농도를 자동적으로 조절하지 못하는 단점은 있으나 발효조에서의 수율에 버금가는 균체수를 얻을 수 있었다.

위에서 언급된 간이발효조에서 36-48시간 배양 후 획득된 균체수를 연속희석 평판도말법으로 측정한 결과는 표 3-6에서와 같다.

<표 3-6> 간이발효조에서 대량배양 후의 미생물 생균수

균 주	배양시간 (hr)	생균수 (cfu/ml)
Lactobacillus acidophilus	48	1.2 × 108
Faenibacillus marcerans	36	3.7 × 108
Eacillus subtilis	36	4.2 × 108

본 배양에서 얻어진 미생물 배양액은 흡착제로 공급된 질석과 영양제로 공급된 쌀겨와 혼합하여 formulation 하고, 중종배양 (2차 발효) 함으로써 균체수를 더욱 증강시켰다. 흡착제로 질석이 아닌 토탄을 이용하는 경우도 많지만 미생물제제의 안정성과 경제성을 고려하여 본 연구에서는 질석을 사용하였다. 이 과정에서 균일한 혼합을 위해 주문제작한 ribbon mixer를 사용하였으며 작업의 단순화 및 효율적 생산을 위해 미생물의 활성에 필요한 수분의 공급은 미생물 배양액 자체를 사용하였기 때문에 불필요하였다.

또한 미생물제제에 의한 유기질 비료의 생산과 더불어 우분 내에 존재하는 휘발성 지방산 (volatile fatty acids)에 의해서 악취가 발생하므로

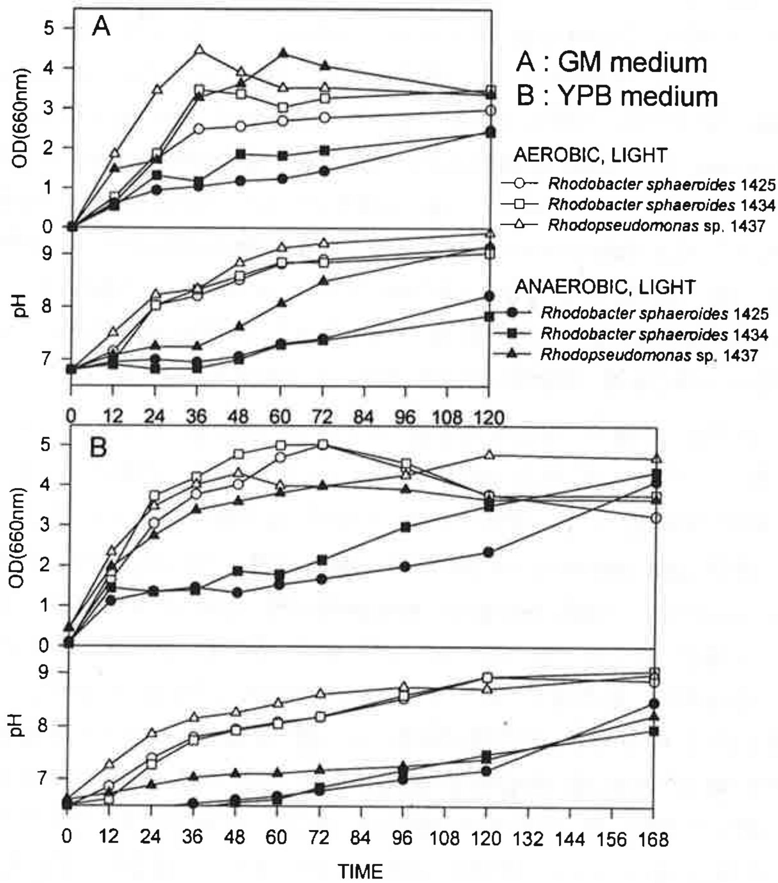
이를 제거하기 위하여 휘발성 지방산을 이용하는 능력이 우수한 광합성 세균을 대상으로 퇴비 제조용 미생물제제로의 가능성을 실험하였다. 또한 광합성 세균에 의해서 만들어지는 ALA(δ-aminolevulinic acid)는 식물의 성장을 촉진 시키고, 생산량을 증대시키는 효과가 있다 (Kobayashi 등, 1978; Sasaki 등, 1990, 1994, 1995). ALA는 glycine과 succinyl-CoA를 이용하여 vitamine B_{12}, Heme과 Bactochlorophyl을 생합성하는 과정의 중간산물로서, glycine과 succinyl-CoA을 이용하여 ALA synthetase에 의해서 만들어진 ALA가 ALA dehydratase에 의해서 PBG(Potphobilinogen)로 전환되는데, 이 때 ALA와 유사한 LA(levulinic acid)를 이용하여 ALA dehydratase의 활성을 정지 시키고 ALA는 세포밖으로 분비하게 된다. 이러한 ALA는 수득하여 농업 생산성 향상을 위한 제초제로도 이용할 수 있다.

본 연구에서는 수집된 광합성세균을 대상으로 휘발성 지방산의 제거효과를 비교하고, 이로부터 *Rhodopseudomonas* sp.외 2종을 선별한 바 있다. 이들의 생체량 획득을 위한 배양조건을 조사한 결과는 그림 3-11과 같다. 세 균주 모두 glutamate-malate (GM) medium에 비하여 YPB (yeast extract-polypeptone -beef extract) medium에서의 균체 성장이 다소 양호하였으나, 경제성 측면에서는 GM medium이 보다 유리한 것으로 나타났다. 또한 빛을 공급하는 조건에서 호기적 배양과 혐기적 배양을 비교하면, 호기적 배양조건이 배양시간을 단축시키는 효과를 보였다. 그러나 광합성세균들의 경우 배양 과정 중 배양액내 pH가 9정도 수준까지 증가되는 공통점을 보였는데, 이러한 pH 상승이 미생물의 생장을 억제시키는 주요인으로 보이며 이러한 관점에서 대량배양시 pH의 조절이 반드시 필요한 것으로 보인다.

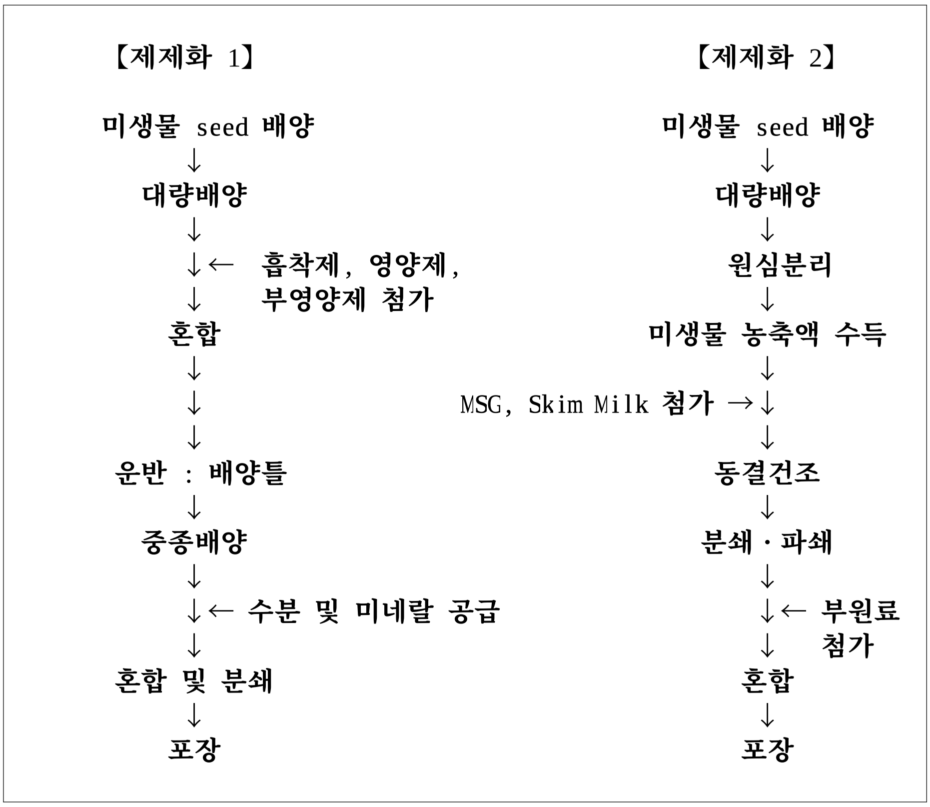
2. 미생물제제 생산을 위한 formulation

대량배양을 거쳐서 수득된 배양액을 이용하여, 액체배지에서 얻어진 균체수의 증감 및 퇴비제조시 유기물 성분을 효과적으로 분해할 수 있도록 미생물 formulation 작업을 수행하였다. 미생물 formulation의 방법에는 여러 가지 방법들이 있는데 생산성과 생산비를 고려하여 대량의 미생물제제를 제조할 수 있는 방법을 고안하여 아래에 표시한 formulation 과정을 거쳐 미생물을 제제화하였다 (그림 3-12).

흡착제로는 질석을, 영양제로는 쌀겨를 이용하였는데 질석의 경우 비중이 0.3 이하로 배양된 미생물의 흡착을 위해, 쌀겨는 흡착된 미생물의 균



〈그림 3-11〉 *Rhodobacter sphaeroides*와 *Rhodopseudomonas* sp.의 배양조건에 따른 생장 비교



<그림 3-12> 미생물 종균제 제조를 위한 제제화 공정

체수를 최대로 증강시키기 위해 사용하였다. 사용한 질석은 1800 ℃이상에서 풍화한 흑운모로 미생물의 오염이 거의 없는데 반해 쌀겨는 영양원으로 원하지 않는 미생물의 오염을 고려해 사용 전에 스팀멸균을 수행하였다.

제제화 방법은 미생물의 균체수 조사결과 제제화 방법1을 이용하는 것이 더욱 효과적임을 알 수 있었다. 제제화 방법2의 경우 보존성은 뛰어나지만 대량배양 이후에 원심분리를 통하여 얻어진 미생물 수득액을 동결건조하기 위해 고가의 설비가 필요하므로 저렴한 생산비의 제제 생산 목적에는 바람직하지 않다. 또한 동결건조에 따른 생균수 감소율은 약 80 %에 달하는 것으로 나타났다 (표 3-7).

제제화 방법1에 의해 퇴비용 및 사료용 미생물 제제를 생산할 때, 원균배양액과 질석, 쌀겨의 혼합비율이 균체수 증강을 위한 함수율에 지대한 영향을 미치므로 혼합비율에 대한 조사와 formulation 과정중에 관여하는

여러 가지 요소들을 고려하여 실험하였다 (표 3-8).

<표 3-7> **동결건조법에 의한 생균수 변화**

균 주	동결건조 전 생균수 (cfu/g)	동결건조후 생균수 (cfu/g)
Faenibacillus marcerans	1.66×10^{8}	3.10×10^{7}
Eacillus subtilis	6.60×10^{8}	1.19×10^{8}

<표 3-8> **미생물 제제화에 영향을 미치는 요인들**

[**배양 원체의 생균수**]

균 주	생균수 ((cfu/ml)
Faenibacillus marcerans	3.73×10^{8}
Eacillus subtilis	4.26×10^{8}

[**질석과 쌀겨의 혼합에 따른 생균수 변화**]

배양시간	질석:쌀겨:생균 (1 : 3 : 4)	질석:쌀겨:생균 (1 : 1 : 2)
배양 24 h	3.85×10^{9}	1.70×10^{9}
배양 48 h	1.23×10^{10}	1.10×10^{10}

[**보조영양제 첨가 효과**]

배양시간	*F. marcerans* (CNLY)	*F.marcerans* + AF
배양 24 h	4.32×10^{10}	8.60×10^{9}
배양 48 h	7.31×10^{10}	6.61×10^{10}

[**보조제의 효과**]

Eacillus subtilis (**생균수**; cfu/g)	6.60×10^{8}	
제제화 조건 \ **배양시간**	24 h	36 h
생균 + **질석** (100 : 50)	4.20×10^{9}	3.09×10^{10}
생균 + **쌀겨** (100 : 100)	4.10×10^{10}	3.85×10^{10}
생균 + **질석** + **쌀겨** (100 : 25 : 75)	4.92×10^{10}	1.40×10^{11}

[부영양제의 효과]

P.marcerans (생균수; cfu/g)	1.66×10^{8}	
배양시간 / 종균제	24 h	36 h
생균 + 질석 + 쌀겨 (100 : 40 : 60)	2.38×10^{10}	1.09×10^{10}
대조구 + 20 ml	7.65×10^{10}	1.27×10^{10}
대조구 + 50 ml	2.35×10^{11}	1.10×10^{11}

※ 부영양제 성분:urea(2%), NaH_2PO_4(0.1%), KH_2PO_4(0.5%), $MgSO_4$(0.5%)

배양액과 질석, 쌀겨의 혼합비를 1:2:2의 부피비로 하였을 때 미생물 생장에 최적인 함수율 60 %를 나타내었다. 이러한 혼합비로 혼합기 (ribbon mixer)로 균질하게 섞은 혼합체를 넓은 틀 (tray)에 일정한 높이로 고르게 쌓은 뒤 균체수 증강을 위해 30 ℃ 항온실에서 후배양하였다. 이때 보조 영양제로 요소 (urea), 인산소다 (NaH_2PO_4), 마그네슘 ($MgSO_4$)을 첨가하였다. 보조 영양제의 첨가는 균체수 증강에 도움이 되며 제제화 전 과정을 통해 원균 배양액보다 균체수가 10^{2} - 10^{3} 이상 증강하는 결과를 얻었다. 균체수를 증강시키기 위해서는 함수율 50-60 %가 적당하며 영양제와 흡착제의 혼합비는 1:2:2 (중량비 4:1:3)로 섞어주는 것이 이상적이며 중종배양과정 중 계속해서 미네랄 용액을 첨가하였다. 미생물제제의 안정적 공급을 위해 제제의 보관온도를 조사하였는데 저온 (4 ℃)과 상온 (20 ℃)에서의 생균수를 조사한 결과 상온 보관의 경우 단기간일 경우에는 균체수의 효율이 더 좋으나 장기간 보관할 경우에는 저온에서 더 효과적이었다. 이와 같은 제제화 방법은 최소한의 설비와 생산비로 미생물제제를 생산할 수 있는 시스템으로서 일반인도 손쉽게 설치하여 운용할 수 있다. 또한 미생물학적 전문지식이 부족하여도 미생물 배양 및 제제화 공정이 단순하고 편리하게 이루어져서 일반 농민들도 쉽게 습득할 수 있을 것으로 사료된다.

3. 미생물제제의 안정화 조건조사

유기질 비료의 퇴비화를 위하여 본 연구에서 생산된 미생물제제는 근본적으로 경제성을 고려하여야 하며 제제를 보존하는 기간과 연관지어 viability가 가장 중요한 요인으로 여겨진다. 지금까지 알려진 formulation 방법중 퇴비제조용 미생물제제에 적합한 것으로는 미생물 배

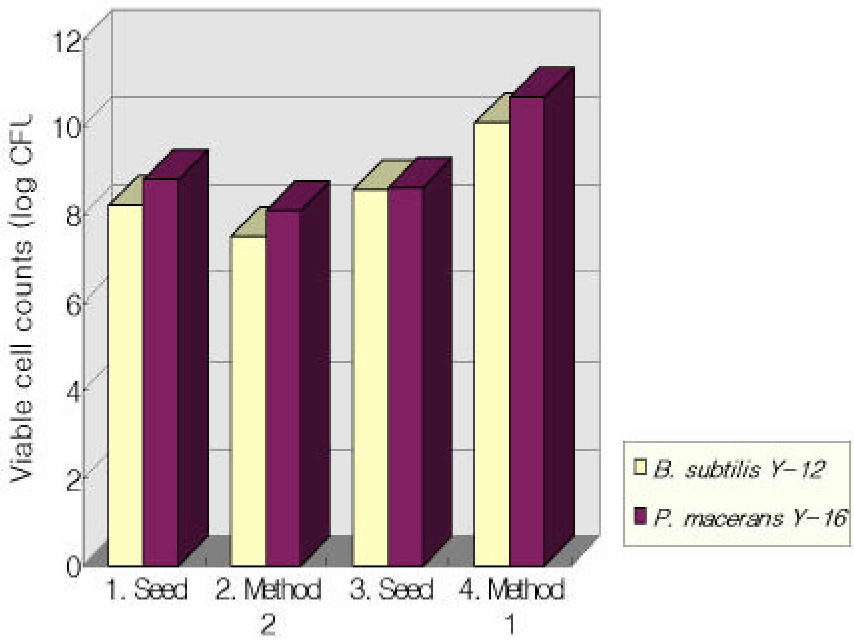
양액을 토탄과 혼합하여 생산하는 granular peat paticle formulation 법, 점토광물 또는 다른 흡착제 표면을 미생물과 토탄 혼합물로 코팅하는 peat-coated particle formulation 법, 배양액을 원심분리한 후 균체를 동결건조시킨 frozen centrifuged biomass formulation 법 등이 있다.

이와 같이 토탄을 흡착제로 이용한 미생물제제가 가장 광범위하고 보편적으로 이용되어 온 것이 사실이다. 그러나 토탄은 질석에 비해 수분 보유능력이 떨어지고 경우에 따라서 미생물에 유해한 독성물질을 생성시킬 수 있다. 또한 질석은 1800 ℃이상에서 풍화시킨 흑운모로서 미생물의 오염이 거의 없는 반면 토탄을 흡착제로 사용할 경우에는 원하지 않는 미생물의 오염이 발생될 수 있다. 위에서 언급한 흡착제 이외에 charcoal을 사용하는 경우 미생물이 분뇨내에서 안정성이 떨어질 뿐만 아니라 토탄과 마찬가지로 수분 보유능이 상당히 저하됨을 알 수 있었다. 이러한 각각의 흡착제로 사용하여 미생물제제를 생산하였을 경우에 비하여 질석을 이용한 것이 미생물의 viability에 더 효과적이었으며 보존성에 있어서도 더 나은 결과를 얻었다.

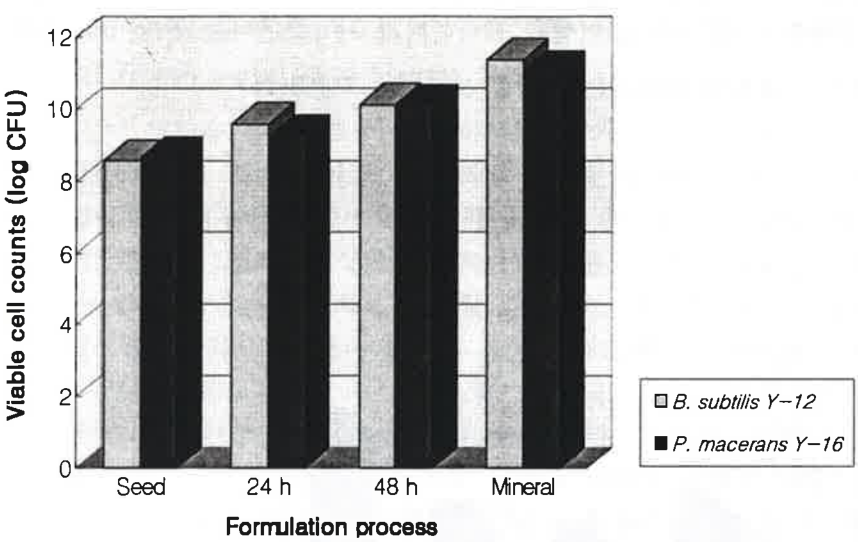
위에서 언급한 동결 건조법 (frozen centrifuged biomass formulation methods)과 본 연구에서 사용된 질석을 이용한 formulation 법의 균체수 증강 효율을 검증하였다 (그림 3-13). 미생물 균체수는 동결건조법으로 수행한 것이 10^{7} - 10^{8} cfu/g 이었으나 질석을 이용한 것이 10^{1} - 10^{2} 배 높았고 균의 보존성은 동결건조법으로 생산된 미생물제제가 더 효율적이었다. 그러나 동결건조법은 제제 생산시 동결건조 및 균체 수획을 위한 원심분리기 등의 고가의 기기를 설비하여야 하는 취약점을 내포하고 있다. 이로써 질석을 이용한 미생물제제의 생산방법이 본 과제와 관련하여 가장 효과적이라고 여겨진다.

본 연구에서 수행한 제제화 방법으로 대량배양시 ml 당 10^{8} cfu의 미생물 수가 조사되었으며 영양원으로 쌀겨를 공급하였을 때 10^{9} - 10^{10} cfu/g 까지 증강되었다. 이때 보조 영양제로 요소 (urea), 인산소다 (NaH_2PO_4), 마그네슘 ($MgSO_4$)을 첨가하여 10^{11} cfu/g 정도로 균체수를 증강하는 효과를 거두었다 (그림 3-14). 이러한 10^{10} - 10^{11} cfu/g 정도의 균체수는 외국에서 미생물제제로서 사용가능한 규제기준인 10^{8} cfu/g을 상회하는 것이다. 그러나 이 방법을 통하여 생산된 제제를 완전히 건조시키지 않고 포장하여 보존할 경우에 미생물 viability가 2 개월 이후부터 10^{7} cfu/g 이하로 급격히 감소하므로 제제 내의 수분을 제거시킨 후에 포장하여 사용하도

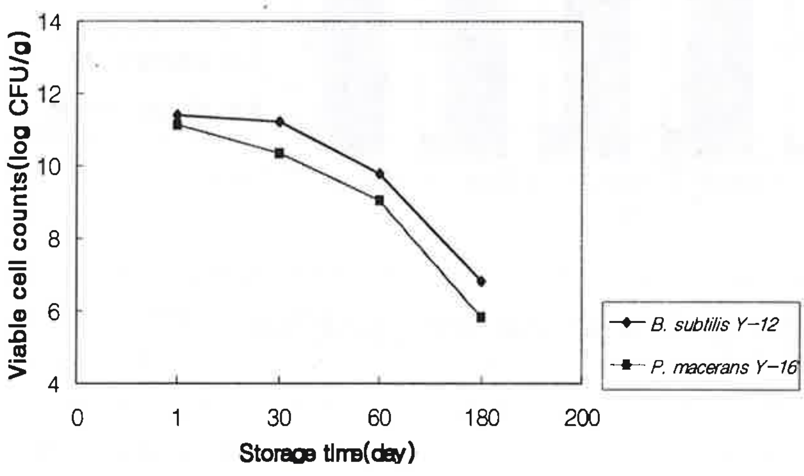
록 하는 것이 더욱 효율적이었다. 또한 제제의 보관온도를 저온(4 ℃)과 상온(20 ℃)에서 보관하면서 생균수를 조사한 결과 상온 보관의 경우 단기간일 경우에는 균체수가 10^{11} cfu/g 이상을 유지하다가 3주 후부터는 곰팡이의 오염 및 균체수가 급격히 감소하는 결과를 보였다 (그림 3-15).



<그림 3-13> 제제화 방법에 따른 생균수의 변화



〈그림 3-14〉 제제화 과정동안 생균수의 증강효과



〈그림 3-15〉 보존 기간에 따른 제제내 미생물의 생존율 변화

제 4 장 미생물제제를 이용한 유기성폐기물 의 퇴비화

제 1절 자연발효에 의한 축분의 퇴비화

1. 우분의 퇴비화

가. 이화학적 기초조사

축산 농가로부터 배출된 축산분뇨가 시설원예 농가에 이용될 수 있는 유기질 비료가 되기까지는 많은 요인이 작용하지만 미생물에 의한 작용이 가장 지대하다. 고로 퇴비화 과정에 관여하는 미생물의 생태적, 생리적 조사는 그 의미가 중요하다. 축산분뇨가 초기의 미생물에 의해 발효가 되기까지에는 온도의 상승·하강 등의 과정을 거치면서 퇴비 환경에 적응하는 미생물의 천이가 일어나게 된다. 이러한 미생물 천이과정에 대한 이해는 미생물제제의 효과적 조성을 위해서 뿐만 아니라 퇴비의 부숙 정도를 파악하는데 도움을 줄 수 있다. 따라서 본 연구에서는 퇴비의 발효과정 중 미생물 천이 양상을 규명하기 위해 축산분뇨로부터 유기질 비료가 이루어지는 과정중의 시료들을 채취하여 여러가지 요소들을 조사하였다. 대상 축분으로는 우분, 돈분, 계분을 사용하였고 발효과정의 조사를 위해 물리적, 화학적, 생물학적 요소들을 조사하였다. 우분 퇴비의 경우 A 시료 : 대조구, B 시료 : 대조구에 한국 유기환경연구회에서 생산한 효소제를 첨가하였고, C 시료 : 대조구에 시판되고 있는 미생물제제를 처리하였으며, D 시료 : 대조구에 본실험을 통해서 선발한 균주들을 처리하여서 퇴비화 과정을 상호 비교 실험하였다.

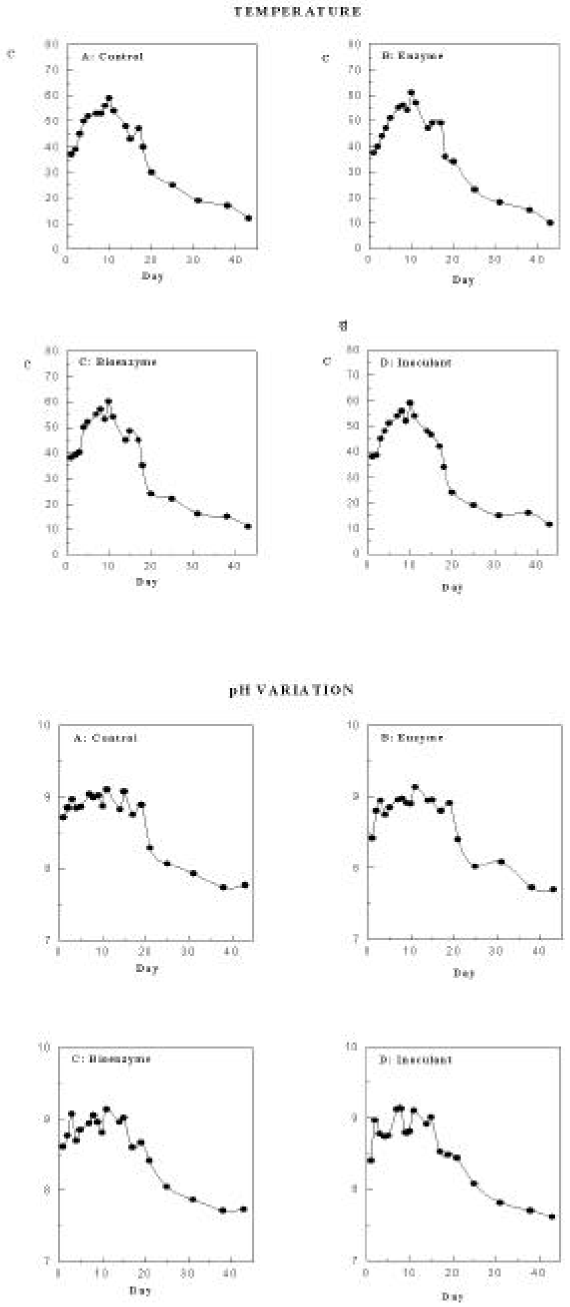
우선 각각의 시료들로부터 총균수와 생균수를 조사해 보았는데 총균수의 경우 10^{10} - 10^{11}으로 미생물의 수는 커다란 차이점이 없었으나 생균수의 경우 10^{7} - 10^{8}을 유지하다가 온도가 올라감에 따라서 일반 중온균들과 곰팡이들의 수가 감소하였고 고온균들의 대부분을 차지하는 방선균들의 수가 증가하였다. 또한, 퇴비화가 진행됨에 따라서 감소하던 세균과 특히 곰팡이의 수가 다시 증가하면서 고온균의 비율은 점차로 감소되었다. 이와 더불어 수분 함량은 초기에 60 - 65 %를 유지하였으나 퇴비화가 진행되면서 50 % 정도로 감소되었다. 퇴비의 초기 pH는 8.0 - 8.3 을 유지하였으나 발효가 진행되면서 암모니아화 작용에 의해 암모니아가 생성되면서 pH는

9.0 - 9.3 까지 증가하였고, 이후 후발효 과정에서는 다시 pH 7.0가 - 8.0 수준으로 감소하였다 (그림 4-1).

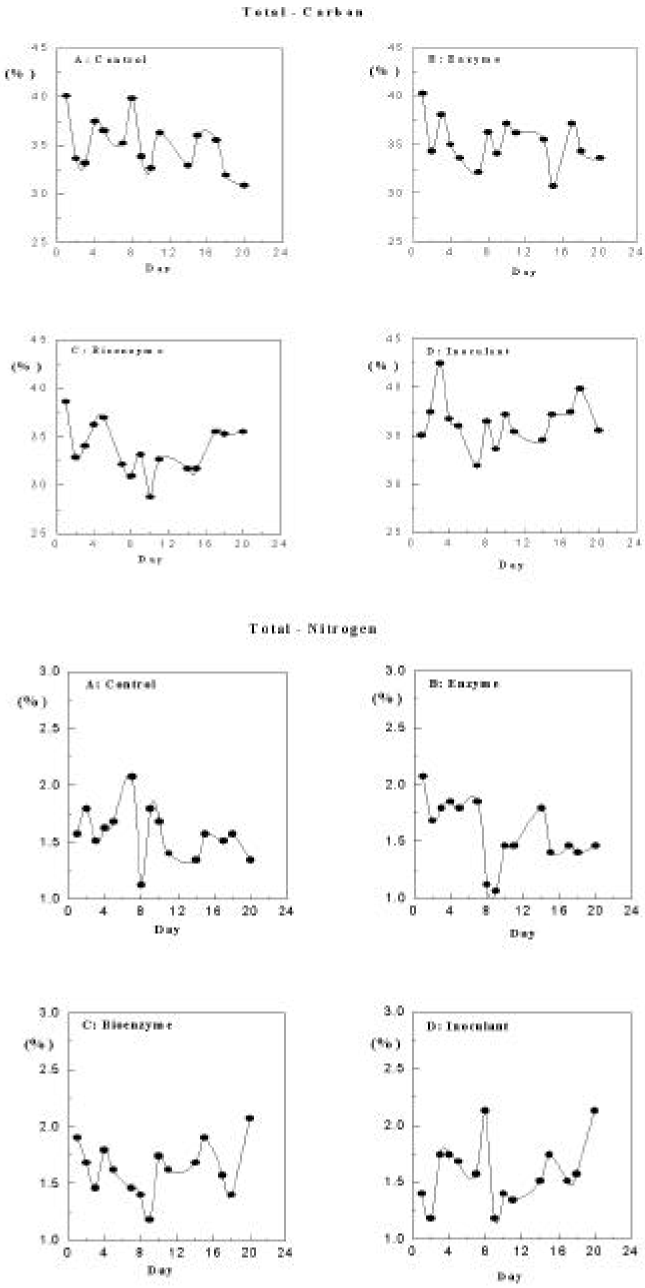
그림에서 보는 바와 같이 온도는 11일째에서 60 ℃ 이상으로 상승하였다가 이후에 감소하였으며, pH는 초기 pH가 8.3에서 시작되어 주발효기간을 거치면서 9.0이상으로 상승하였다가 온도가 감소하면서 pH도 7.5수준으로 낮아졌다. 또한 수분함량의 경우에는 초기에 65 %를 유지하다가 발효기간을 거치면서 50 - 55 %로 저하되었다. 이 결과로 퇴비화 과정동안의 주발효 기간은 성공적으로 이루어진 것으로 보아진다.

퇴비화기간 동안의 화학적 요소로써 총 탄소량, 총 질소량, 총 인, 총 칼륨, 암모니아성 질소, 질산태 질소, 총 당량, 환원당량, 유기물량, 탄질율을 조사 하였다 (그림 4-2).

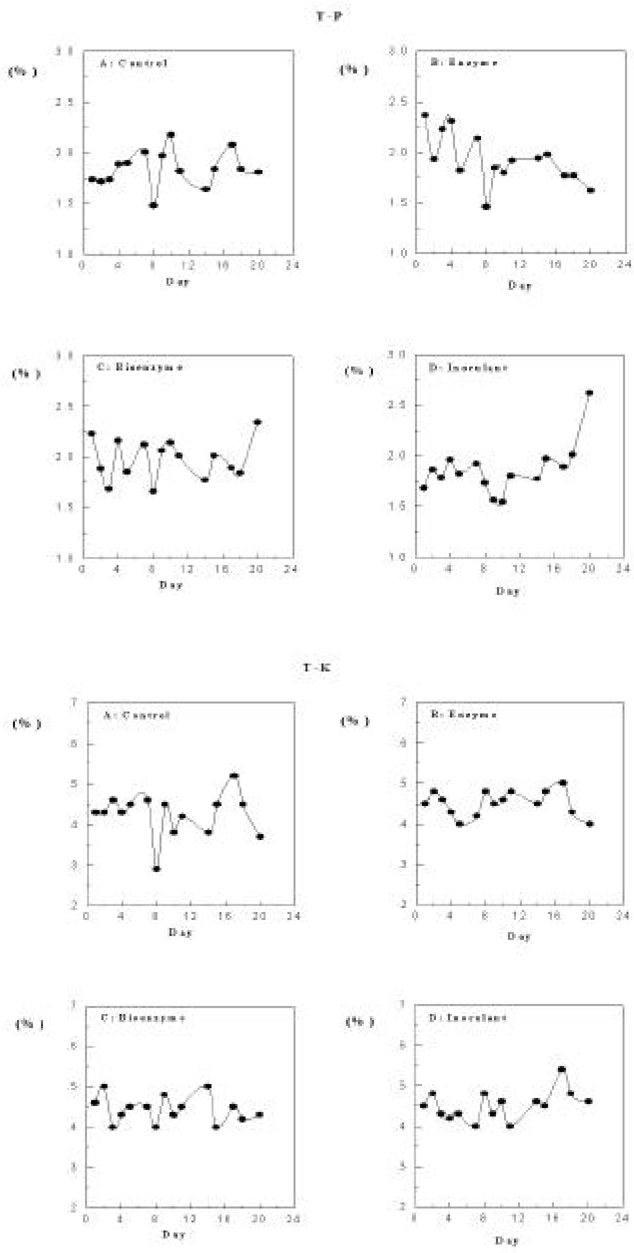
총 탄소량의 경우, 전체적으로 감소하였고 주발효 기간에 특히 감소하는 양상을 보였는데 이것은 주발효 기간에 탄소질 성분의 분해가 활발히 이루어진 결과이다. 총질소량의 변화는 A, B 시료의 경우는 점차로 감소하였고 C, D 시료의 경우는 약간 증가하였고 총 인과 총 칼륨에서는 거의 유사하게 나타났으나 D 시료의 경우는 다른 것들에 비해 약간 증가하는 양상을 보여주고 있다. 질소질 성분의 분해로 발생되는 암모니아성 질소는 A, B, C, D 시료에서 모두 주발효기간에 급격히 증가하였고 특히 D 시료에서 확실한 경향을 얻었다. 이러한 암모니아성 질소는 혐기적 조건이 되면 암모니아로 유실되므로 계속적인 환적을 통해서 공기를 공급해주었다. 질소산화 미생물에 의해 암모니아성 질소는 질소원으로 재이용되어 질산태 질소로 산화되는 D 시료에서 특히 질산태 질소의 증가 결과를 얻을 수 있었다. 이 조사에서 전체적으로 모든 시료에서 주발효 기간에 증가하는 결과를 얻었다. 총 당량은 A 시료를 제외하고 주발효 기간에 감소하였고 환원당량은 주발효 기간에 증가하였다가 후발효 기간으로 접어들면서 점차로 감소하였다. 이로써 당성분의 물질이 주발효 기간에 분해되면서 후발효 기간에는 점차로 줄어드는 경향을 보여준다. 환원당의 경우 후발효기간인 10 - 18 일 사이에는 탄질율이 상대적으로 높기 때문에 분해속도가 느려 환원당의 생성이 지체되는 것으로 보아진다. 유기물의 경우 모든 시료에서 점차적으로 감소하는 경향을 보이며 탄질율의 경우에는 B 시료를 제외한 나머지 시료에서 퇴비화가 진행되면서 감소하는 양상을 보인다. 탄질율이 높을 경우에는 유기물의 분해속도가 느리게 되고 낮을 경우에는 질소원의 유실이 유발되므로 탄질율은 퇴비화를 진행하는데 중요한 요소가 된다.



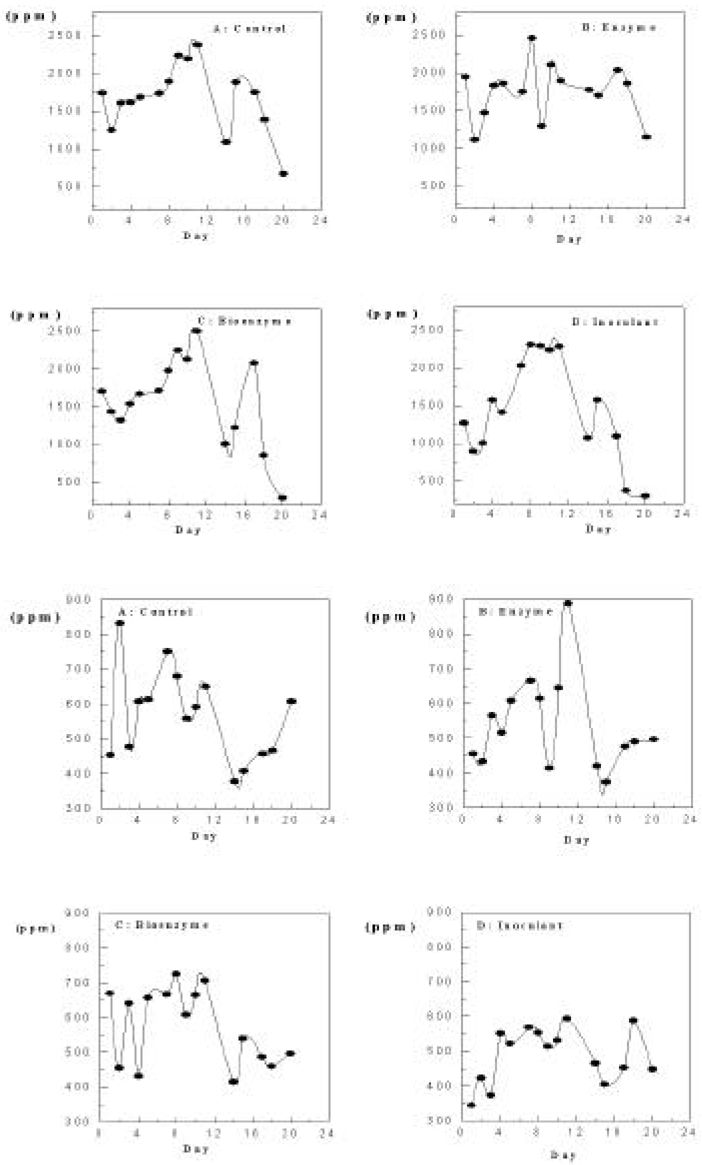
<그림 4-1> 퇴비화 과정중의 온도 및 pH 변화



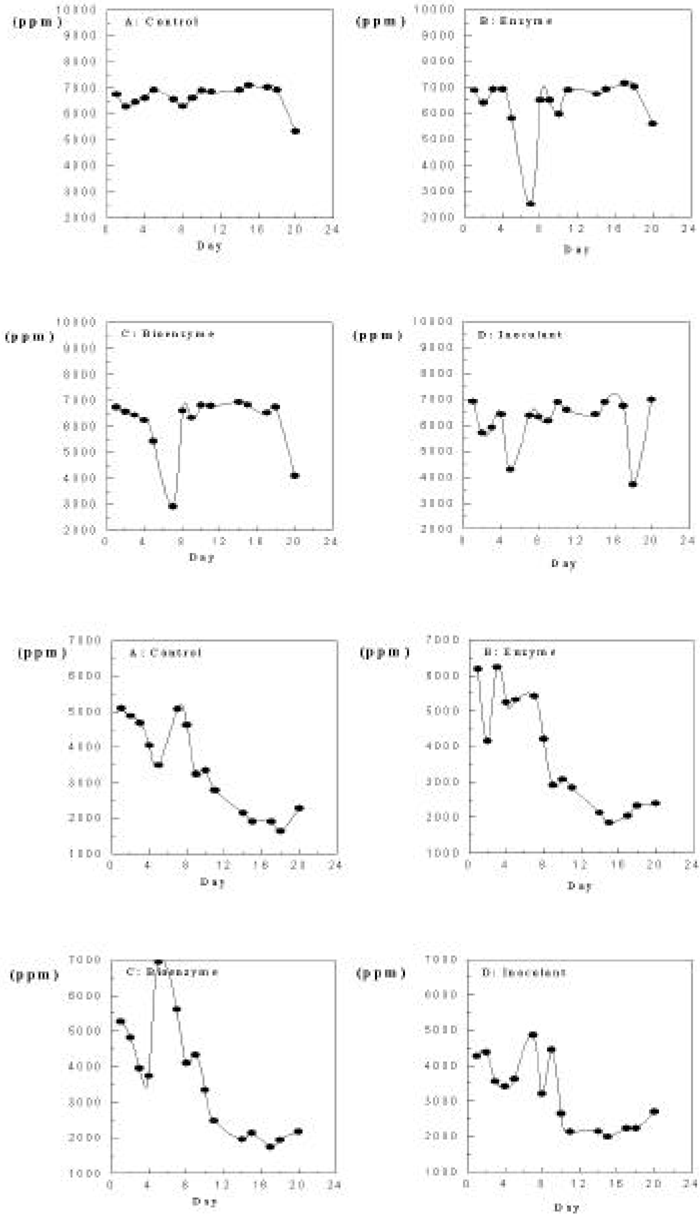
<그림 4-2-1> 퇴비화 과정 중 총탄소 및 총질소 변화



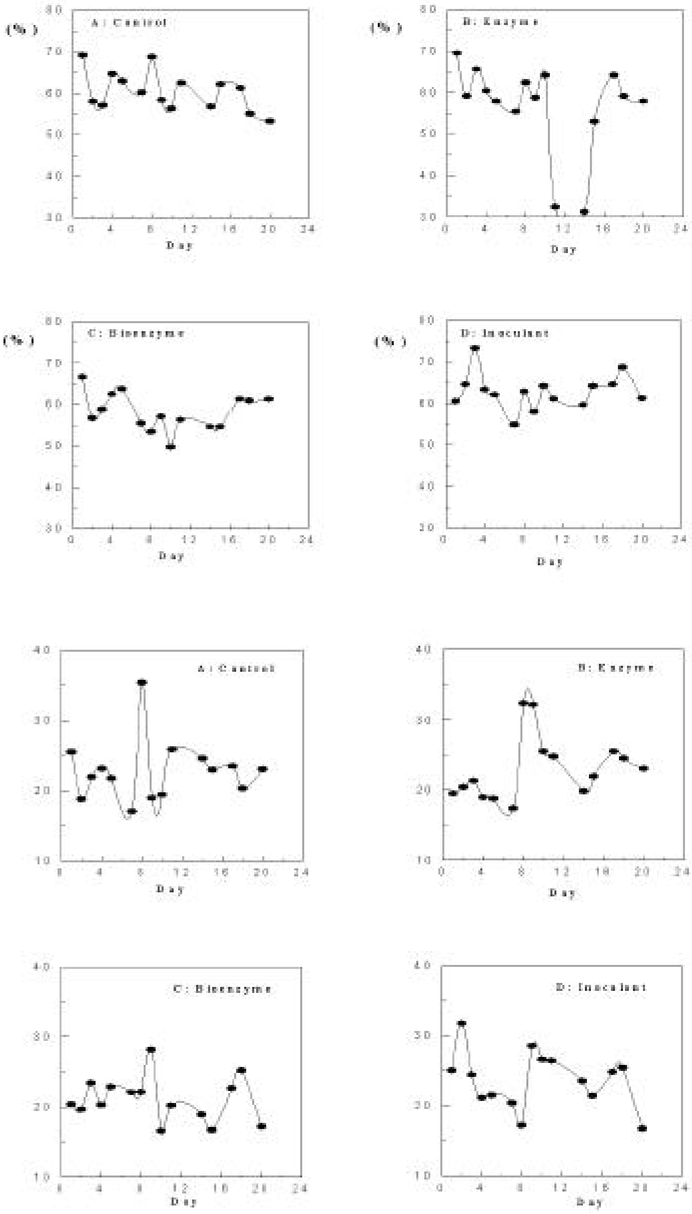
<그림 4-2-2> 퇴비화 과정 중의 총인 및 총칼륨 변화



<그림 4-2-3> **퇴비화 과정 중 암모니아성 질소 및 질산성 질소 변화**



<그림 4-2-4> 퇴비화 과정 중 총당 및 환원당의 변화



<그림 4-2-5> **퇴비화 과정 중 유기물 및 탄질율 변화**

나. 미생물학적 기초조사

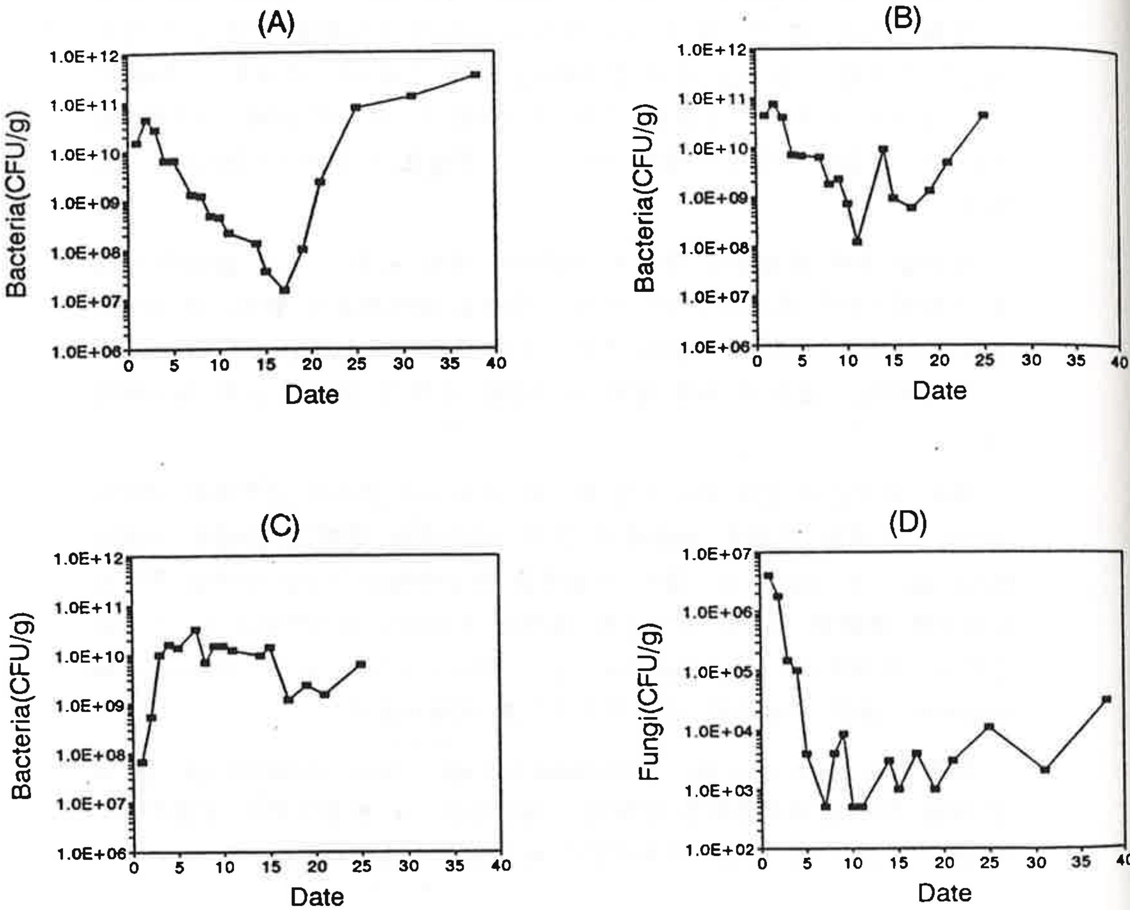
축산 분뇨내의 온도에 따른 세균과 곰팡이의 수와 각종의 유기물들을 고려해 단일 탄소원으로 각기 다른 유기물들을 주고 연속 희석 평판 배양법을 이용하여 생리적 미생물 군집의 변화를 조사하였다 (그림 4-3).

여기에서 주어진 단일 탄소원으로는 섬유질 (cellulose), 목질 (xylan), 녹말 (starch), 우레아 (urea)를 사용하였다. 온도에 따른 세균의 변화 양상은 25 ℃, 37 ℃에서 퇴비의 온도가 올라감에 따라 수가 감소하다가 후발효 기간에는 다시 증가하였고, 55 ℃에서는 주발효 기간에 온도 상승으로 인하여 고온균의 수가 증가하였다. 세균에 비해 상대적으로 곰팡이는 주발효 기간동안에는 사멸하다가 후발효 기간부터 나타나기 시작했다.

섬유질 분해 미생물은 주발효 기간에는 수의 변화가 거의 없다가 후발효 기간에서부터 증가하였는데 이것은 섬유질 분해효소의 활성도와 유사한 결과이다. 녹말 분해 미생물의 경우, 계속 감소하다가 후반기에 다시 나타나기 시작하고 요소와 목질 분해 미생물은 변화가 없는 것으로 조사되었다.

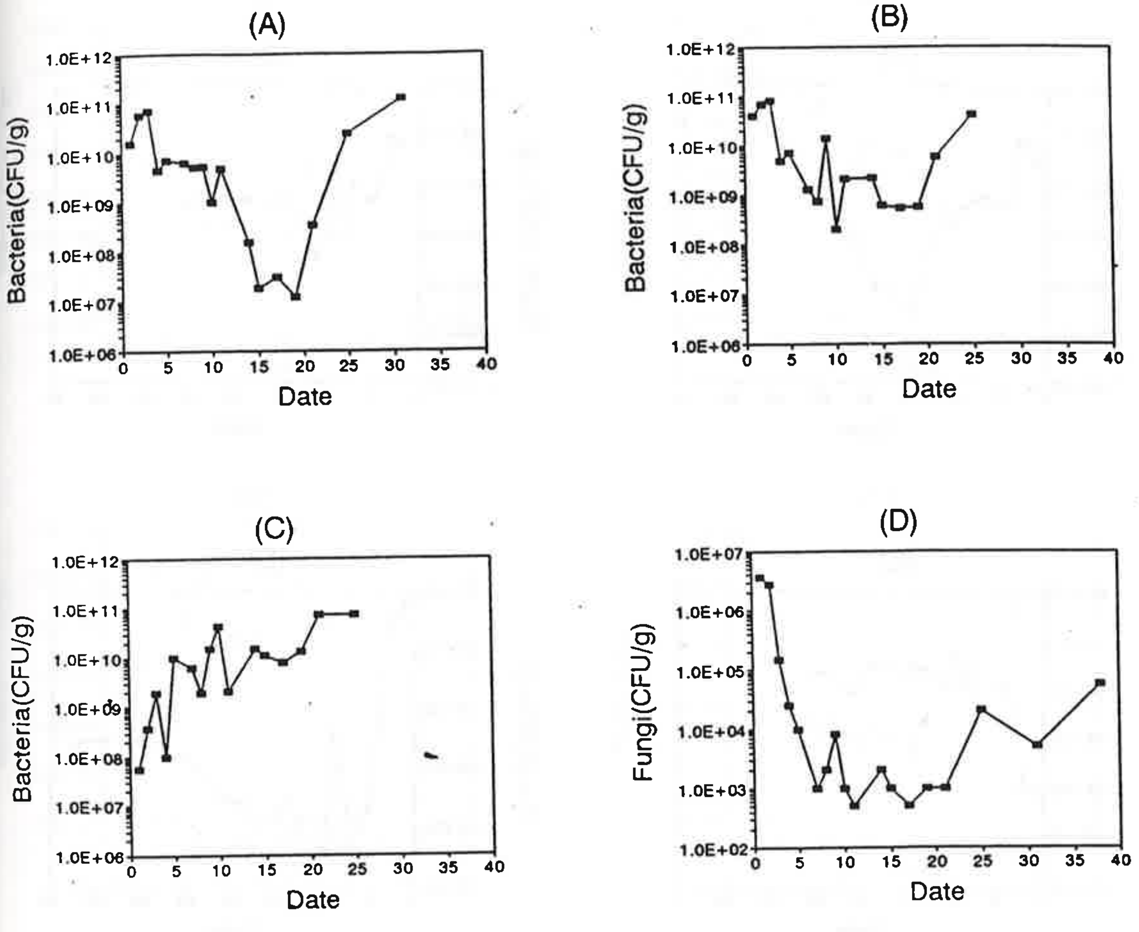
특히 사상균의 경우 배양 1일 후부터 시료내에 균사가 관찰되기 시작하였으며, 미생물 군락의 조사에서 초기 5일까지는 일반 토양에서 유래된 *Mucor* sp., *Rhizopus* sp. 등이 우점종을 형성하였다. 배양 일주일 후부터 퇴비구의 표면에 접종한 사상균의 포자가 관찰되기 시작하였으며, 미생물 군락의 조사에서도 *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Penicillium duclauxii* 균주가 일주일 이상 우점종으로 지속되었다.

한편, *Stachybotrys* sp., *Cladosporium* sp., *Helicodendron* sp. 는 배양 20일 후에도 우점종으로 관찰되지 않았는데, 그 원인으로는 접종한 6종의 균주를 모두 동량으로 사용하였기 때문으로 사료된다.



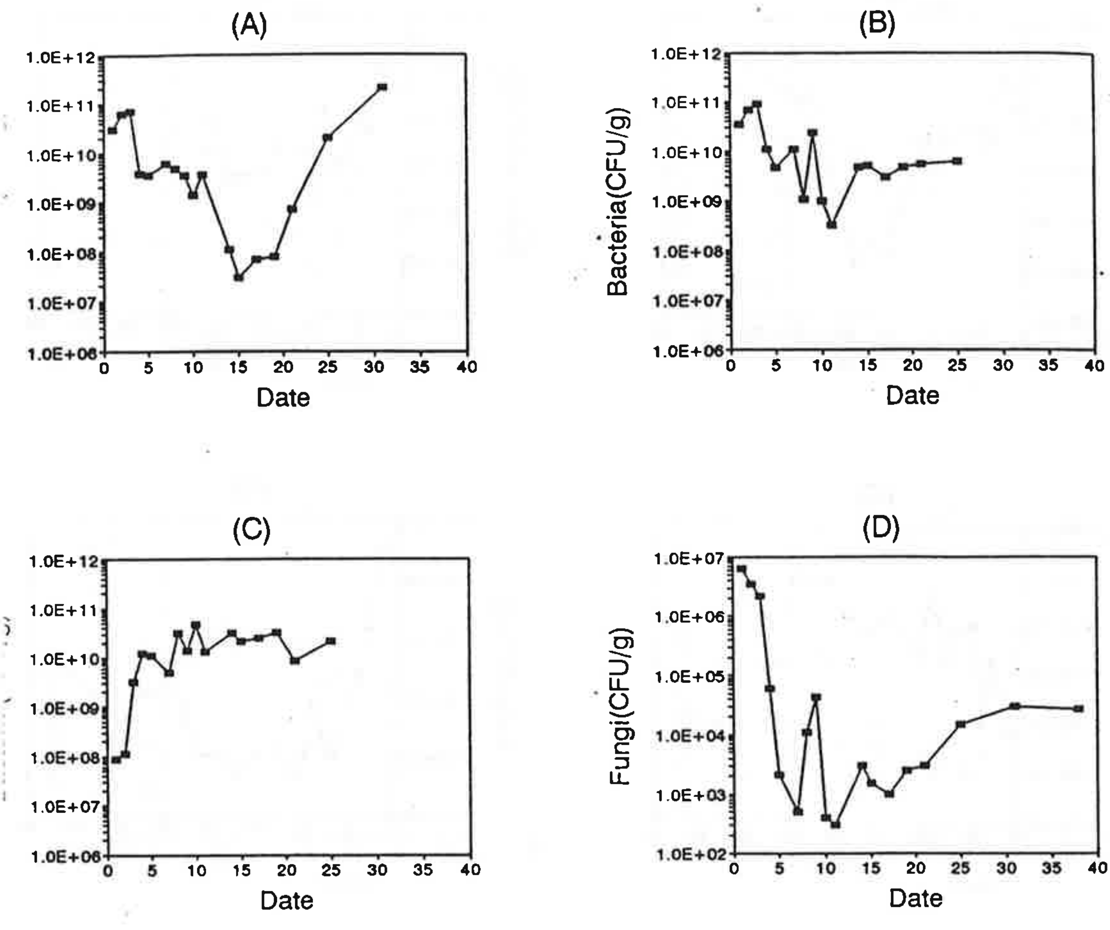
<그림 4-3-1> 발효퇴비내 생장온도 별 미생물수의 변화 (대조구)

A, 25 ℃; B, 37 ℃; C, 55 ℃; D, fungi(25℃)



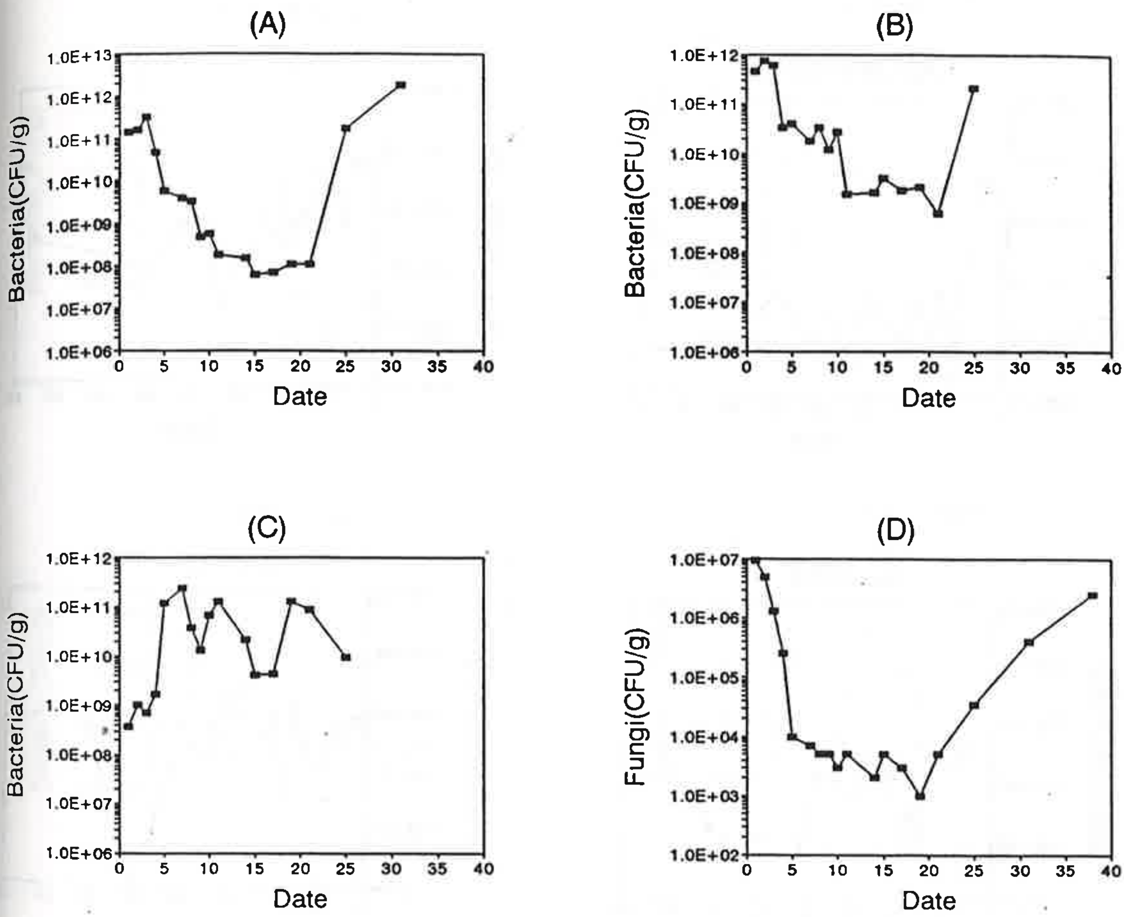
<그림 4-3-2> 발효퇴비내 생장온도 별 미생물수의 변화 (유기연제제처리)

A, 25 ℃; B, 37 ℃; C, 55 ℃; D, fungi(25℃)



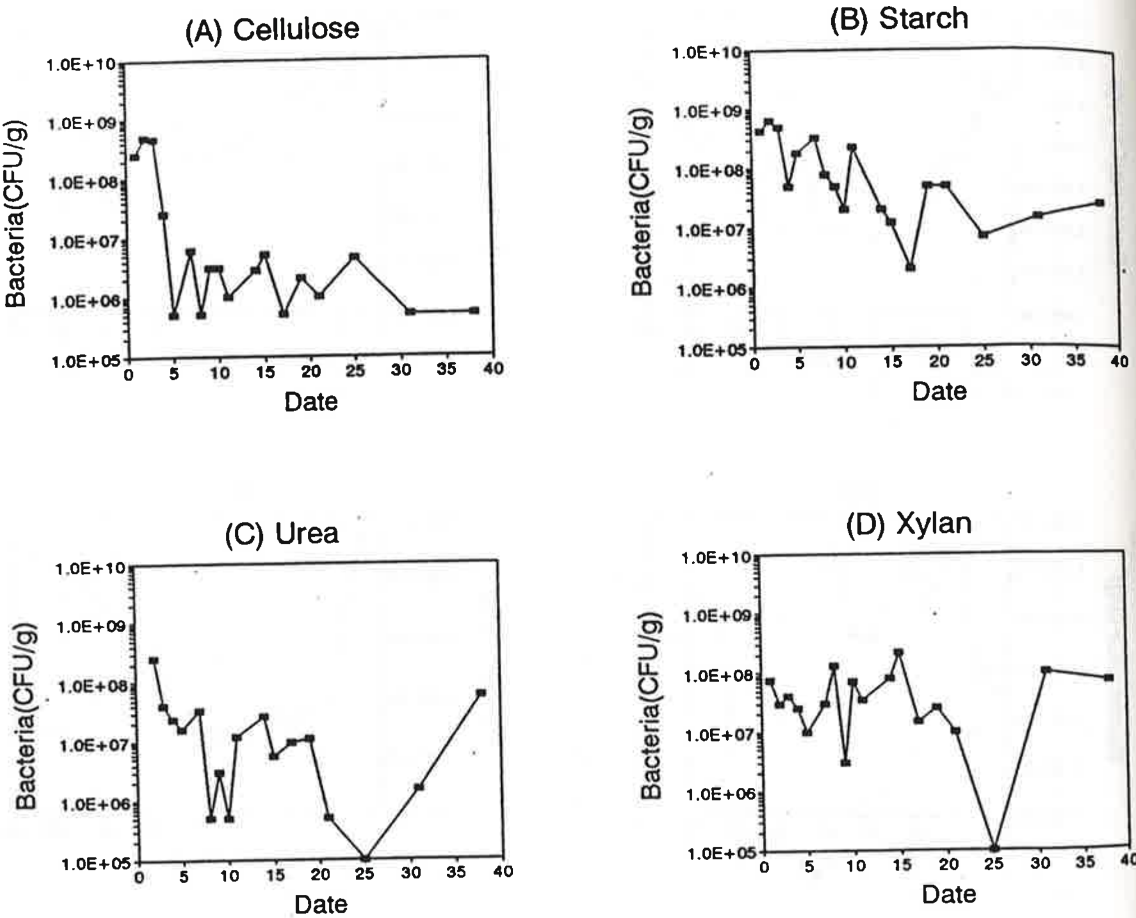
<그림 4-3-3> 발효퇴비내 생장온도 별 미생물수의 변화 (bioenzyme처리)

A, 25 ℃; B, 37 ℃; C, 55 ℃; D, fungi(25℃)



<그림 4-3-4> 발효퇴비내 생장온도 별 미생물수의 변화 (실험제제 처리)

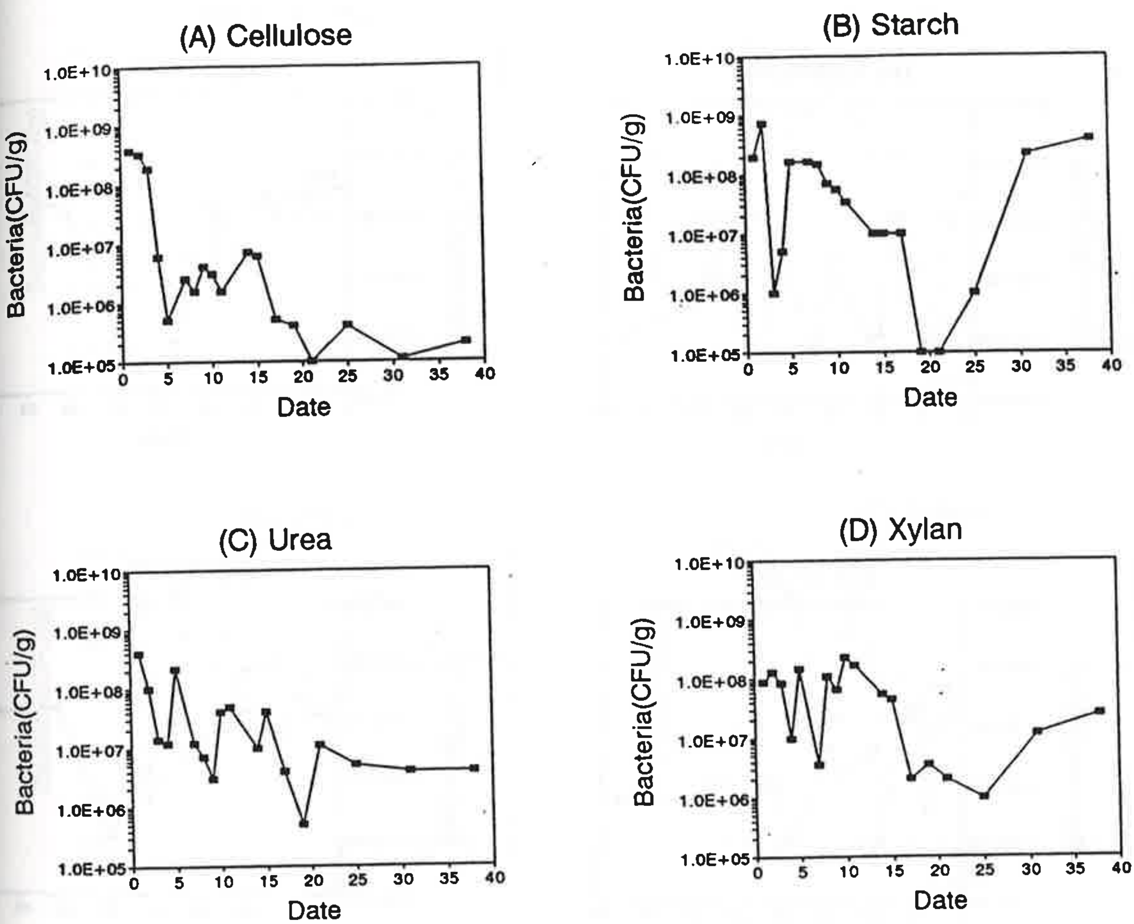
A, 25 ℃; B, 37 ℃; C, 55 ℃; D, fungi(25℃)



<그림 4-3-5> 발효퇴비내 생리적 기능별 미생물수의 변화 (대조구)

A, cellulose 분해 미생물; B, starch 분해 미생물;

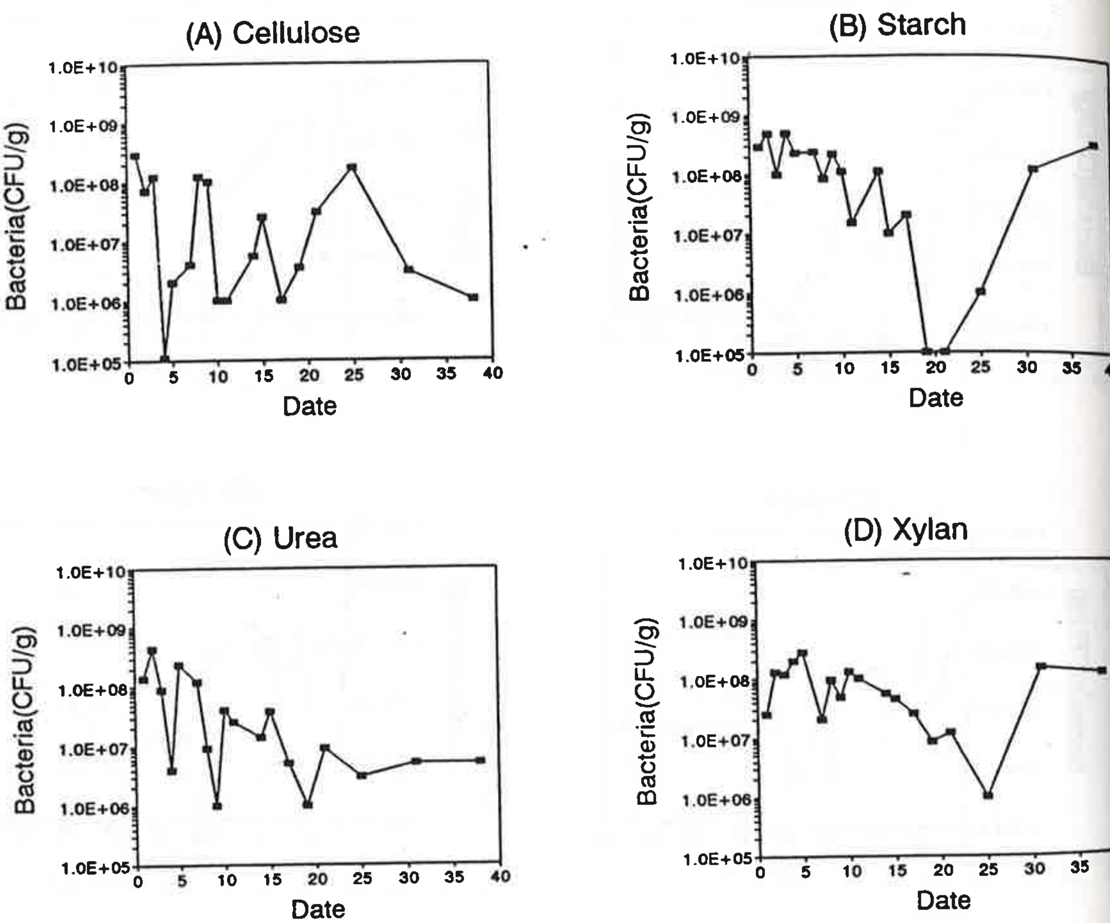
C, urea 분해 미생물; D, xylan 분해 미생물



<그림 4-3-6> 발효퇴비내 생리적 기능별 미생물수 변화 (유기연제제처리)

A, cellulose 분해 미생물; B, starch 분해 미생물;

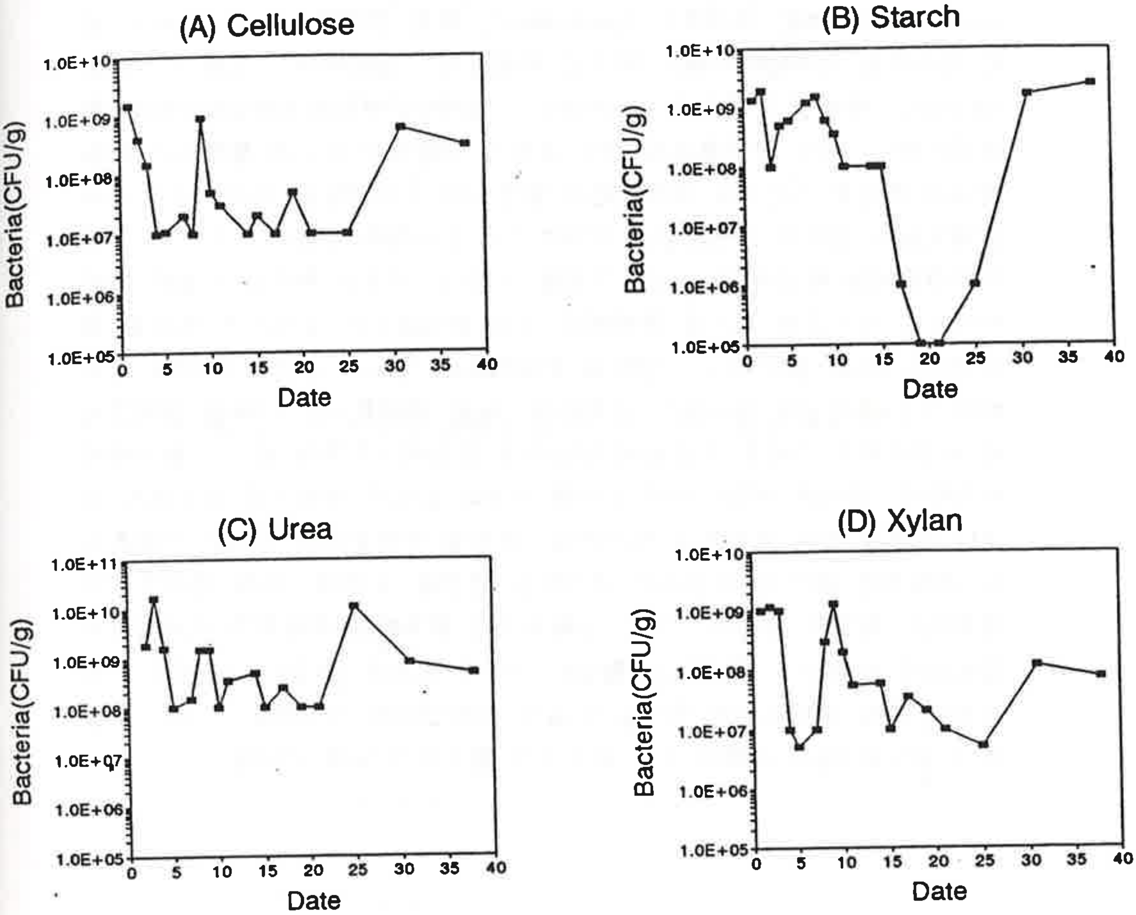
C, urea 분해 미생물; D, xylan 분해 미생물



<그림 4-3-7> 발효퇴비내 생리적 기능별 미생물수 변화 (bioenzyme처리)

A, cellulose 분해 미생물; B, starch 분해 미생물;

C, urea 분해 미생물; D, xylan 분해 미생물



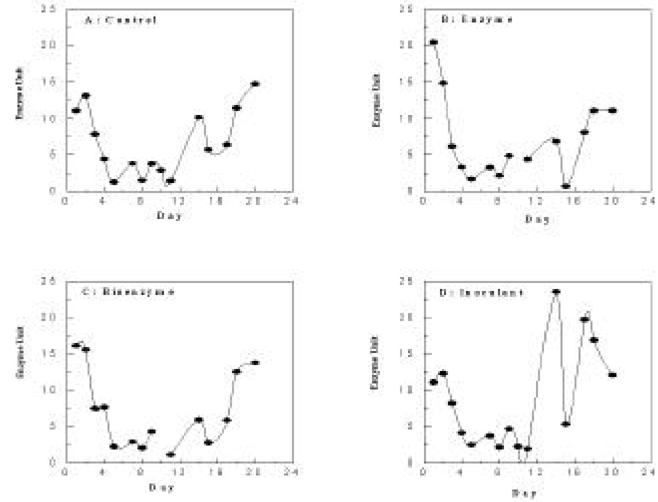
<그림 4-3-8> 발효퇴비내 생리적 기능별 미생물수 변화 (실험제제처리)

A, cellulose 분해 미생물; B, starch 분해 미생물;

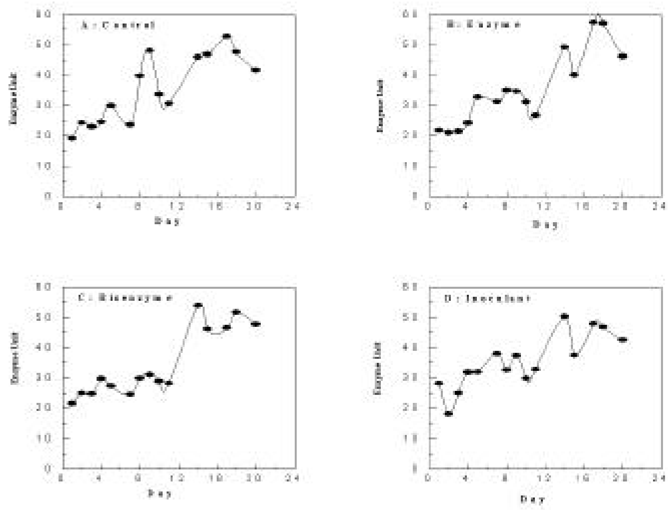
C, urea 분해 미생물; D, xylan 분해 미생물

이러한 생리적 활성을 갖는 미생물 군집의 변화와 병행하여 시기에 따른 우분의 퇴비화 과정중 유기물 분해와 관련이 있는 여러 가지 토양효소의 활성도를 조사하였다 (그림 4-4).

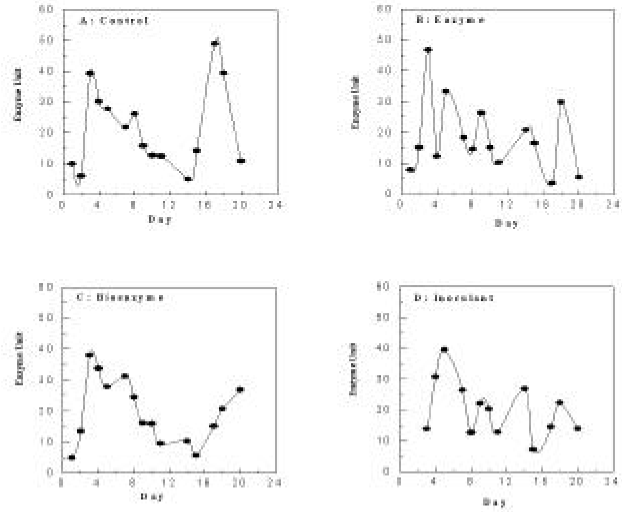
조사한 토양 효소로는 녹말 분해효소 (amylase), 섬유질 분해효소 (cellulase), 펙틴 분해효소 (pectinase), 목질 분해효소 (xylanase), 인산 분해효소 (phosphatase), 리그닌 분해효소 (ligninase), 요소 분해효소 (urease), 단백질 분해효소 (protease), 탈가수분해효소 (dehydrgenase)를 조사하였다. 인산 분해효소의 경우 온도가 상승함에 따라서 활성도가 감소하다가 후발효 기간으로 접어들면서 활성도의 증가양상을 보여주었고 요소 분해효소는 발효가 진행되면서 점차적으로 증가하는 양상을 보이다가 후발효기간중에는 약간의 감소하는 경향을 보인다. 이것은 축분을 이용한 퇴비화이므로 주성분인 요소를 분해하는 요소 분해효소의 활성도가 점차로 증가한다는 것을 말해준다. 단백질 분해효소는 온도가 올라감에 따라 감소하다가 13일째부터 증가하기 시작한다. 녹말 분해효소도 단백질 분해효소와 마찬가지로 주발효 기간중에 감소하고 11일째이후부터 조금씩 증가하기 시작한다. 퇴비를 제조하는데 넣어준 축분과 톱밥의 영향으로 섬유소와 리그닌 성분을 많이 포함하고 있으므로 섬유질 분해효소와 리그닌 분해효소는 전체적인 퇴비화 과정에서 증가하는 경향을 보인다. 목질 분해효소의 경우에도 점차로 증가하고 펙틴 분해효소의 경우에는 후발효가 시작되면서 감소하기 시작한다. 토양효소 활성도 조사에 따르면 상대적으로 펙틴 분해효소와 목질 분해효소의 활성도가 높게 나타났으며 시기별로 볼 때, 주발효가 일어날 때가 각각의 토양 효소마다 활성도가 높게 나타났다.



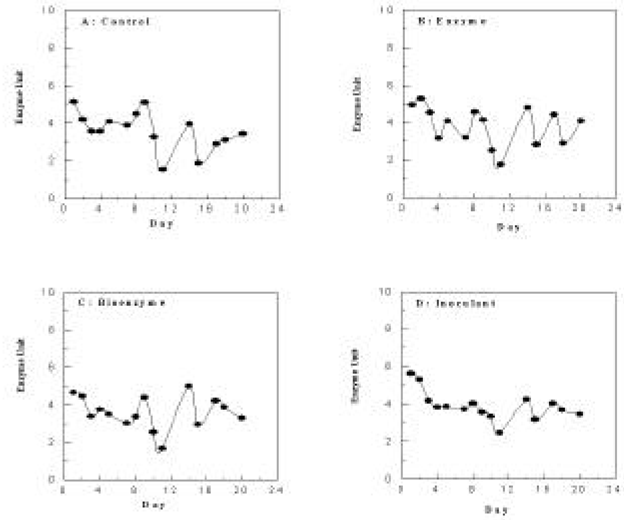
<그림 4-4-1> 퇴비화 과정중 인산분해효소의 활성 변화



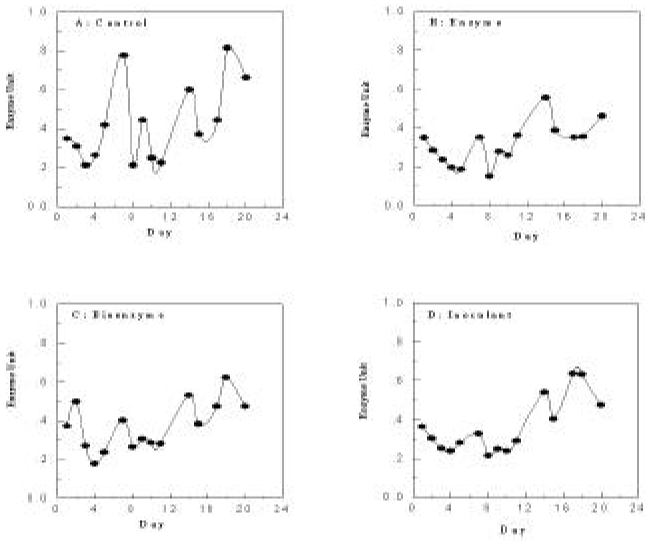
<그림 4-4-2> **퇴비화 과정중 요소분해효소의 활성 변화**



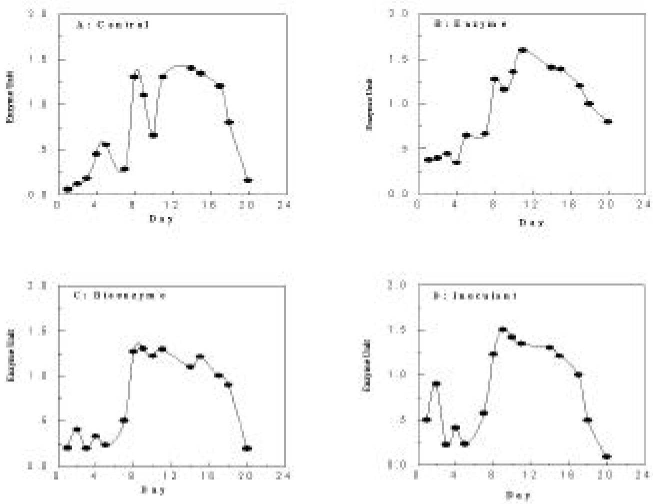
<그림 4-4-3> **퇴비화 과정중 단백질분해효소의 활성 변화**



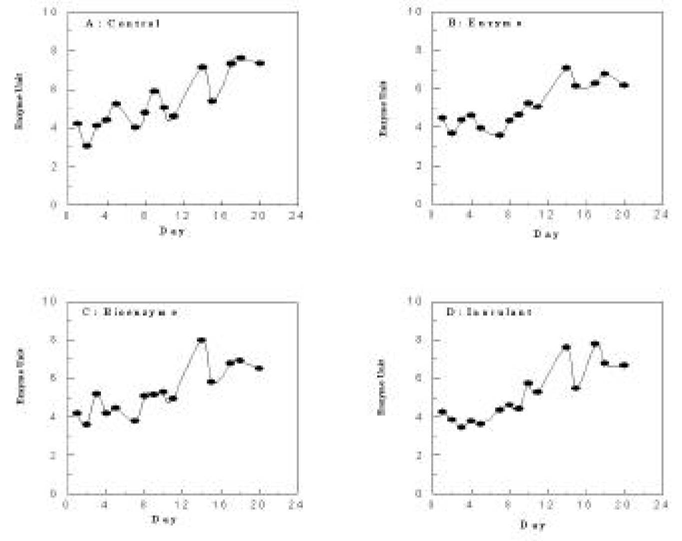
<그림 4-4-4> **퇴비화 과정중 녹말분해효소의 활성 변화**



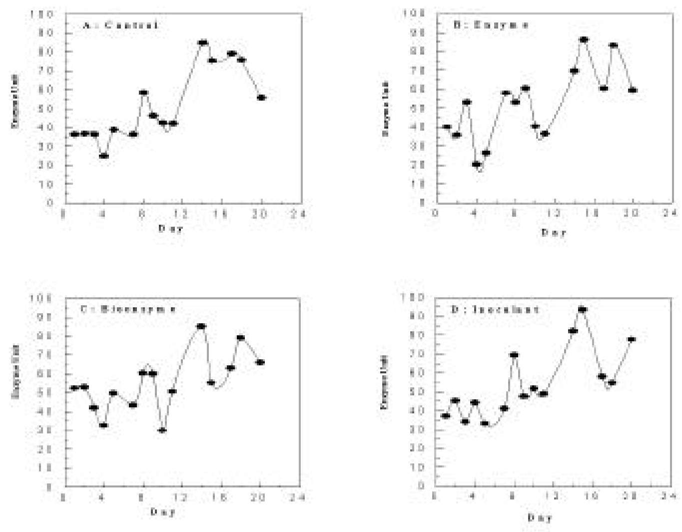
<그림 4-4-5> 퇴비화 과정중 섬유질분해효소의 활성 변화



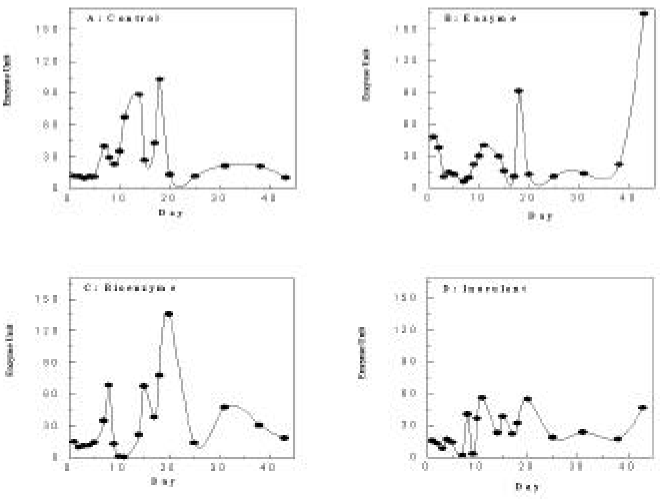
<그림 4-4-6> 퇴비화 과정중 펙틴분해효소의 활성 변화



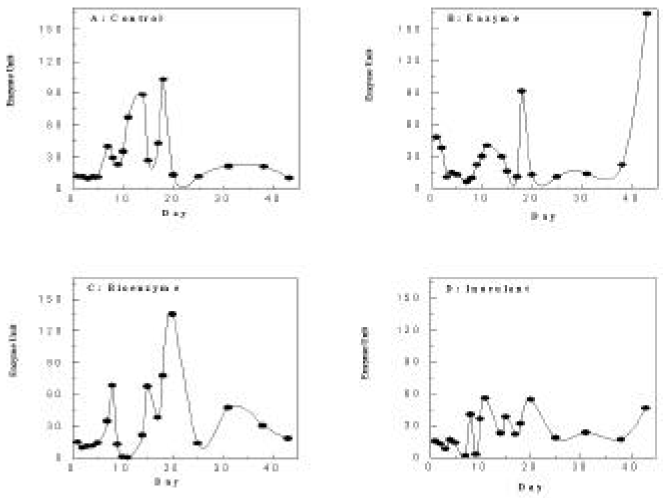
<그림 4-4-7> 퇴비화 과정중 목질분해효소의 활성 변화



<그림 4-4-8> 퇴비화 과정중 리그닌분해효소의 활성 변화



<그림 4-4-9> 퇴비화 과정중 탈수소분해효소의 활성 변화



<그림 4-4-9> 퇴비화 과정중 탈수소분해효소의 활성 변화

2. 돈분 및 계분의 퇴비화

가. 퇴비원료의 물리화학성 조사

돈분 및 계분은 식물영양성분이 높고, C/N율이 낮은 반면, 수분함량이 높다. 그러므로 직접적인 퇴비화가 어려우므로 수분이 낮은 탄소원을 이용하여 적절히 혼합하면 양질의 퇴비생산이 가능하며 퇴비원료의 조성은 표 4-1과 같다. 또한 표 4-2에서 보는 바와 같이 가축분뇨에도 중금속이 전혀 없는 것은 아니나, 다른 유기성폐기물보다는 상당히 적은 값을 보이므로 양질의 퇴비원료라고 할 수 있다.

<표 4-1> 퇴비원료의 화학적 조성

원 료	pH (1:5)	T-N %	T-C %	C/N Ratio	K	Ca	Mg	Na	Al
							%		
돈 분	6.49	2.5	41.6	16.4	1.29	6.10	1.02	0.4	0.34
계 분	5.73	305	35.2	10.0	1.37	3.23	1.07	0.57	0.62
톱 밥	4.92	0.2	50.0	250	0.14	0.80	0.04	0.03	0.10
제 지	7.08	1.08	25.4	23.5	0.15	0.15	2.18	0.06	3.31

<표 4-2> **퇴비원료의 중금속 함량** (**단위**:mg/kg)

원 료	Cr	Mn	Cu	Zn	Pb	Fe
돈 분	12.2	307	309	421.9	<10.3	2,562.3
계 분	7.97	273	76.3	76.3	<10.3	4,441.9
톱 밥	<2.66	137	<4.26	12.2	22.4	240.9
제 지	38.1	56	57	192.9	<10.3	3,478.2

퇴비의 주원료인 가축분은 축사의 시설이나 형태에 따라서 상당한 작업성의 차이를 나타낼 수 있다. 돈분의 경우 스크랩퍼 방식으로 수거된 돈분이 퇴비의 원료로서 양호하였으며, 부재료로 사용된 톱밥과 제지는 작업성에서는 별 문제가 되지 않았다.

나. 퇴비원료의 배합 방법

원료로 사용된 돈분의 수분 함량은 65 70 %, 톱밥의 함량은 34 %, 제지의 함량은 24 %였으며, 배합비율은 표 4-3과 같다.

5개의 처리구 중 P-2가 양호한 물리성으로 판단이 되었으나, 5개 처리구 모두 원료 투입시와 발효조내에서 이송이 되지 않는 문제를 야기시켰지만, 급격한 수분함량의 저하로 4일 후에는 물리성으로 인한 문제점은 나타나지 않았다. 부재료로 건조된 제지를 사용하였을 때 투입된 총건물중 65.7 %가 투입되었다. 이는 물리성 개선 측면에서 가축분의 부재료로서 부적합함이 관찰되었다. 그러나 톱밥과 제지를 1:1로 혼합하여 부재료로 사용했을 때는 문제점이 약간 개선되었다.

<표 4-3> **돈분과 부재료의 배합비율과 수분함량** (**단위**: 건물중, %)

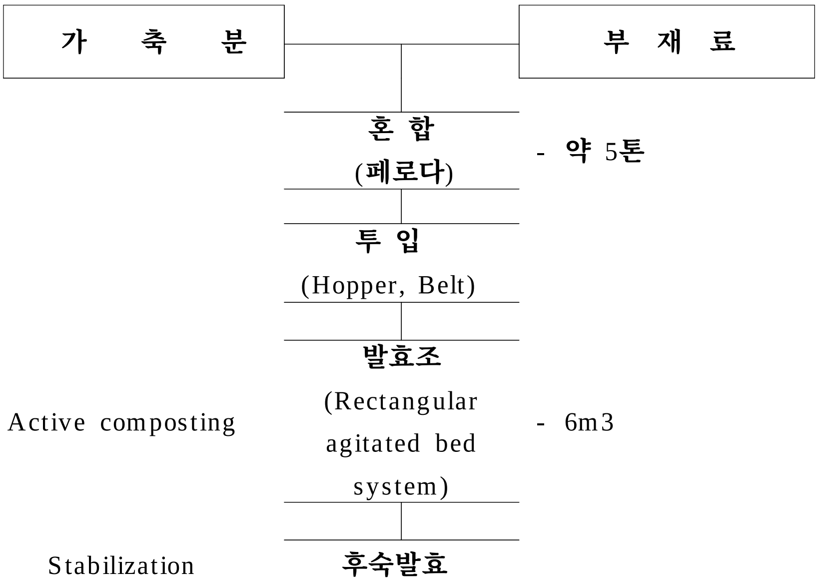
원 료	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5
돈 분	65.3	56.6	70.9	34.3	63.3
톱 밥	34.7	43.4	29.1	--	21.1
건조제지	--	--	--	65.7	15.6
수분함량	65	59	57.8	50	53
C/N 율	17.0	20.4	14.6	12.2	13.5

원료로 사용된 계분의 수분함량은 60 70 %였으며, 부재료는 돈분의 경우와 같았다. 배합비율은 표 4-4와 같다.

<표 4-4> 계분과 혼합원료로서 배합비율 및 수분함수량 (단위:건물중, %)

원 료	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
계 분	86.9	72.4	76.6	54.5	67.1
톱 밥	13.1	27.6	23.4	--	16.7
건조제지	--	--	--	45.5	16.2
수분함량	65	59	58	50	53
C/N율	12.4	12.7	11.6	17.4	11.6

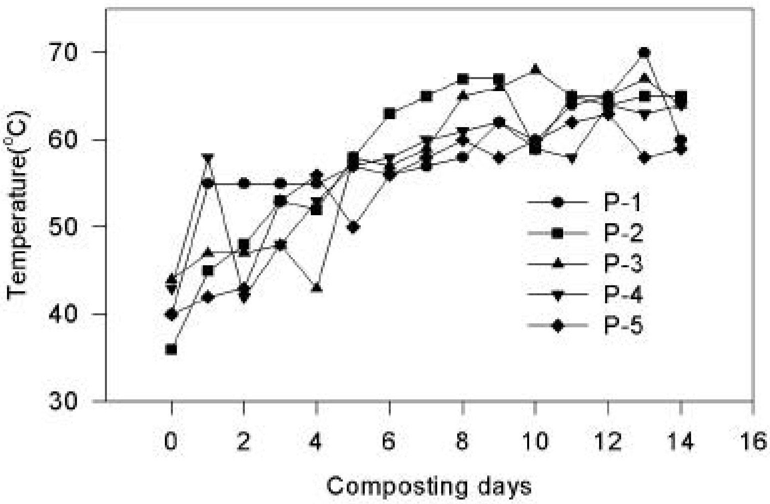
이 중 C-2의 경우가 비교적 양호한 물리성을 가졌으며, 대부분 돈분의 경우와 같은 양상을 보였다. 위와 같은 퇴비화 원료를 이용하여 대략적인 퇴비화의 개략도를 아래에 도시화하였다 (그림 4-5).



<그림 4-5> 퇴비 제조과정의 개략도

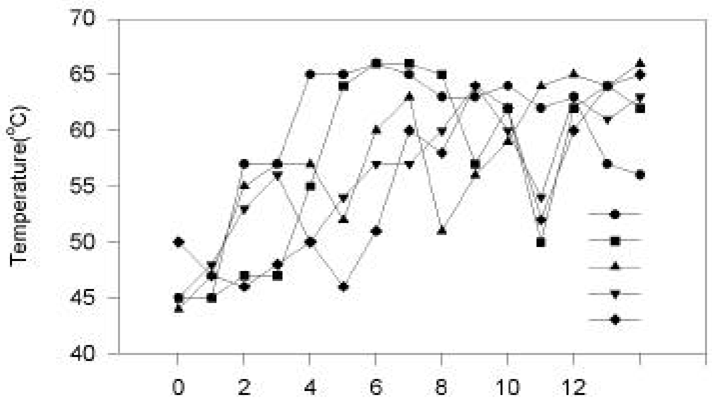
다. 부숙과정중의 물리화학성 조사

돈분 및 계분에서의 퇴비화 과정 중 온도변화는 그림 4-6와 4-7에 제시한 바와 같다. 돈분의 경우 P-2는 5일째, P-3는 6일째, P-4는 7일째, 그리고 P-1 및 P-5는 공히 8일째 퇴비더미의 중심온도가 60 ℃까지 상승하였다. 한편 계분의 경우에서는 C-1이 5일째, C-2는 6일째, C-3는 7일째, C-4 및 C-5는 8일째 각각 60 ℃에 도달하였다. 이는 퇴비화 초기에 퇴적물의 중심온도가 60 ℃까지 상승하는데 소요되는 기간이 퇴비원료의 초기 수분함량에 크게 의존하고 있음을 나타내는 결과이다. 이 결과는 표 4-5와 같다. 다시 표 4-5의 결과를 2차 곡선으로 전환하면, 그림 4-8 및 4-9와 같이 표시할 수 있다. 그 결과 퇴적더미의 수분함량을 기준으로 볼 때 돈분은 약 58 %, 그리고 계분은 약 65 %의 수분조건으로 조정하여 초기 퇴비화 동안 중온균이나 고온균 미생물에 의한 퇴비원료의 활발한 분해조건을 만족시켜야 할 것으로 판단된다.

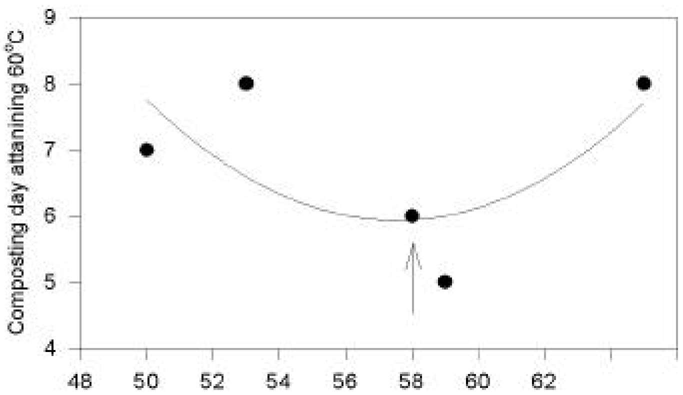


<

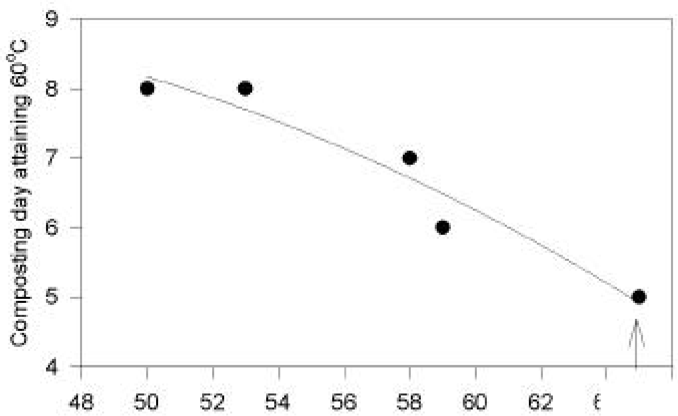
그림 4-6> **퇴비화 과정중 돈분 퇴비더미의 온도변화**



<그림 4-7> 퇴비화 과정중 계분퇴비더미의 온도변화



<그림 4-8> 퇴비화시 돈분 퇴적더미가 60℃가 되는 적정한 수분함량



<그림 4-9> 퇴비화시 계분 퇴적더미가 60℃가 되는 적정 수분함량

<표 4-5> 처리구별 중심부 온도가 60 ℃될 때와 수분함량과의 관계

구 분	처 리 구	소요일수	추천처리구	퇴적물의 수분함량(%)
돈 분	P-1	8		65
	P-2	5	○	59
	P-3	6		58
	P-4	7		50
	P-5	8		53
계 분	C-1	5	○	65
	C-2	6		59
	C-3	7		57
	C-4	8		50
	C-5	8		53

1) 돈분퇴비

pH변화는 전 처리구에서 중성부근으로 접근하는 경향을 보이고 있으며, T-N은 상대적으로 유기물이 분해됨에 따라 증가하는 경향을 보였다. T-C는 퇴비화가 진행됨에 따라서 약간 감소하는 경향을 보였으며, 또한 C/N율도 감소하는 경향을 보였다. 특히 색도 (Y 값)는 P-2에서 비교적 큰 차이로 낮아졌으며, 화학조성의 변화는 표 4-6과 같다.

2) 계분퇴비

pH는 전 처리구에서 비교적 초기에 높아졌다가 낮아지는 경향을 보였으며, pH가 중성부근으로 접근하는 돈분퇴비처리구와 비슷하였다. T-C는 전 처리구에서 감소하는 경향을 보였으며, 그에 따라 T-N은 증가하는 경향을 보였다. 특히 색도 Y값은 C-1과 C-2처리구에서 비교적 낮아지는 경향을 보였다. 계분의 물리화학적인 변화는 표 4-7과 같다.

<표 4-6> 퇴비화 과정중 돈분의 물리화학적인 변화

처리구	퇴비화일수	pH(1:5)	T-N(%)	T-C(%)	C/N율	색도(Y값)
	0	7.85	1.9	32.3	17.0	10.35
	4	8.08	2.0	32.1	16.0	10.15
P-1	8	7.73	2.0	31.3	15.6	6.32
	12	7.41	2.4	31.2	13.0	6.26
	16	7.63	2.3	30.9	13.4	7.31
	0	8.00	2.0	40.8	20.4	11.67
	4	8.06	2.4	39.9	16.6	10.66
P-2	8	7.82	2.0	39.1	19.5	10.35
	12	7.22	2.3	38.3	16.6	9.25
	16	7.29	2.1	36.1	17.0	7.92
	0	7.82	2.0	29.2	14.6	13.84
	4	6.54	2.0	28.7	14.3	12.37
P-3	8	7.60	2.2	25.2	11.4	9.27
	12	7.15	2.1	24.7	11.7	9.25
	16	6.83	2.2	24.9	11.3	9.27
	0	7.38	2.4	29.4	12.2	11.09
	4	7.02	2.1	28.7	13.6	14.36
P-4	8	6.86	2.3	28.4	12.3	14.94
	12	6.99	2.4	26.5	11.0	11.29
	16	6.37	2.5	26.0	10.4	10.81
	0	6.75	2.5	33.8	13.5	6.51
	4	6.65	2.7	33.4	12.3	9.24
P-5	8	6.35	2.7	33.0	12.2	9.09
	12	6.40	2.6	32.3	12.4	8.08
	16	6.70	2.8	31.7	11.3	8.22

<표 4-7> **퇴비화 과정 중 계분의 물리화학적 변화**

처리구	퇴비화일수	pH(1:5)	T-N(%)	T-C(%)	C/N율	색도(Y값)
	0	7.23	2.19	27.2	12.4	10.56
	4	7.57	2.15	26.3	12.2	9.78
C-1	8	7.95	2.12	25.7	12.1	7.31
	12	8.05	1.77	25.2	14.2	9.31
	16	7.26	2.16	24.9	11.5	7.88
	0	7.14	2.20	28.0	12.7	12.45
	4	7.47	2.10	27.5	13.0	10.75
C-2	8	7.71	2.03	25.8	12.7	8.16
	12	8.18	2.09	25.6	12.2	8.23
	16	7.72	2.34	25.1	10.7	6.96
	0	7.73	2.60	28.6	11.6	10.51
	4	8.49	2.50	27.8	11.1	8.96
C-3	8	7.65	2.45	27.1	11.0	6.31
	12	7.94	2.11	26.9	12.7	6.23
	16	7.72	2.50	26.9	10.8	7.17
	0	7.61	1.60	27.8	17.4	12.67
	4	8.16	1.57	27.1	17.3	13.60
C-4	8	7.39	1.70	26.9	15.8	12.26
	12	7.54	1.89	25.7	13.6	9.33
	16	7.46	1.99	25.4	12.8	8.47
	0	7.91	2.22	25.8	11.6	12.13
	4	7.72	2.20	27.4	13.5	11.62
C-5	8	7.13	1.70	26.5	15.6	11.03
	12	7.37	1.90	25.3	13.3	11.33
	16	7.25	2.20	25.0	11.4	10.45

3) 식물독성실험

대조구에 비하여 처리되는 뿌리 성장에 제약을 받고 있었으며, 또한 그에 비하여 줄기 부분의 성장은 계속되는 것을 볼 수 있었다. 이것은 퇴비화 규모가 크기 때문에 부분적으로 발생되는 혐기 조건하에서 생성되는 휘발성 유기산들의 영향으로 보여진다.

라. 퇴비화 과정중 미생물 군집의 변화 조사

1) **초기단계의 미생물 군집의 분포**

초기단계의 퇴비내 미생물 (세균, 사상균, 방선균) 생균수를 측정한 결과 시료 1g당 세균은 평균 10^6 10^8, **사상균은** 10^4**의 존재율을 나타내었으며 수분함량을** 65 %**로 조절한** P-1**시료의 경우** B/F (Bacteria/Fungi)**값은**

3700, C-1시료의 경우 5400을 나타낸 반면 수분함량 50 %로 조절한 P-4의 B/F값은 25, C-4시료는 425를 나타내어 수분함량에 따른 세균과 사상균의 존재율에 상이함을 나타내었다 (그림 4-10, 4-11, 4-16, 4-17). 돈분퇴비의 경우 각 시료당 방선균수는 평균 106 cfu/g을 나타낸 반면 P-5 시료에서는 103 cfu/g으로 가장 적은 분포율을 나타내었다 (그림 4-14). 포자형성 미생물은 모든 시료 중에 105 106 cfu/g으로 존재하였다(그림 4-12. 4-13).

2) 고온단계의 미생물 군집의 분포

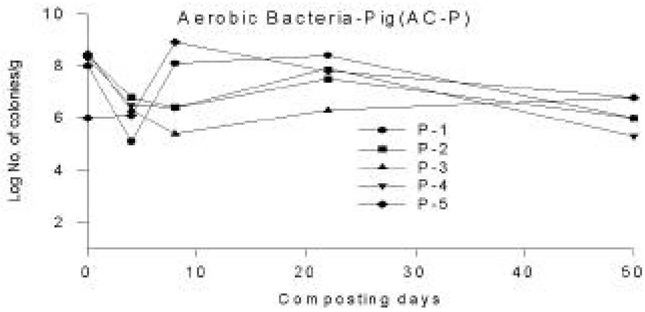
퇴비의 온도가 60 ℃이상으로 상승됨에 따라 미생물 flora의 개체수에도 큰 변화를 보였다. P-1, C-1 시료의 퇴비내 온도가 상승됨에 따라 B/F값은 급격히 감소하여 47 610을 나타내었다. 이 시기에는 다른 시료중에서도 70 600정도의 낮은 B/F값을 나타내었다 (그림 4-10, 4-11, 4-16, 4-17). P-2, P-3, C-4, C-5 시료중의 방선균수는 초기단계에 비하여 10배 이상 감소하였으며 고온단계에 존재하는 방선균수는 평균 104 105 cfu/g 이었다 (그림 4-14, 4-15). 포자형성 미생물수는 106 107 cfu/g으로 초기단계보다 다소 증가하는 경향을 나타내었으며, 이 시기에 퇴비내에 존재하는 대부분의 세균은 포자형성균으로 나타났다.

3) 냉각기 및 숙성단계의 미생물 군집의 분포

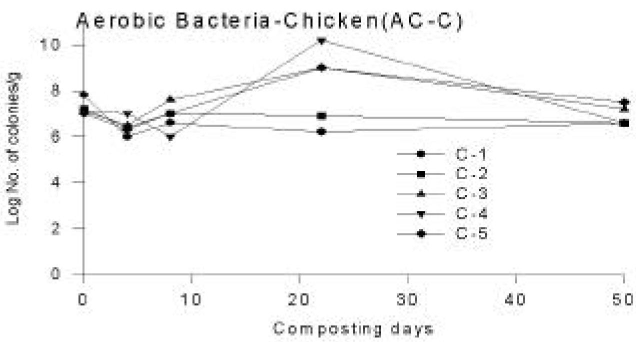
퇴비의 온도가 떨어지는 냉각단계와 숙성단계에서 보인 미생물상의 분포는 다음과 같다. 수분함량 65 %로 조절된 P-1, C-1 시료의 경우 B/F값은 고온기 이후 점차 회복되는 경향을 보이다가 50일 이후에는 다시 급격히 감소하여 숙성이 끝난 후에는 낮은 세균수를 나타내었다 (그림 4-10, 4-11, 4-16, 4-17). 방사선수도 103 CFU/g으로 매우 낮은 존재율을 나타내었다 (그림 4-14, 4-15). 수분함량을 53 50 %로 조절된 P-4, P-5, C-4, C-5시료의 경우도 숙성이 끝난 후의 시료중 B/F값은 매우 낮은 수치를 나타내었다 (그림 4-10, 4-11, 4-16, 4-17). 방선균수도 평균 103 cfu/g 정도로 매우 낮았다 (그림 4-14, 4-15). 포자형성 미생물수는 10배정도 감소하는 것으로 보아 중온성 미생물의 재정착이 이루어진 것으로 판단된다 (그림 4-12, 4-13). 한편, 수분함량이 약 58 %로 조절된 P-3, C-3의 경우 퇴비화과정 중 고온단계에 급격히 감소하였던 방선균류가 냉각단계 이후 다시 증가하여 세균, fungi와 더불어 동적 평형관계를 이루면서 퇴비내 미생물 flora의 다양성을 나타내었다. 퇴비화가 끝난 후의 퇴비내 세균수는 105 107 cfu/g이고, fungi는 103 104 cfu/g이며, 방선균수는 세균보다

10^2배 정도 적게 존재하였다.

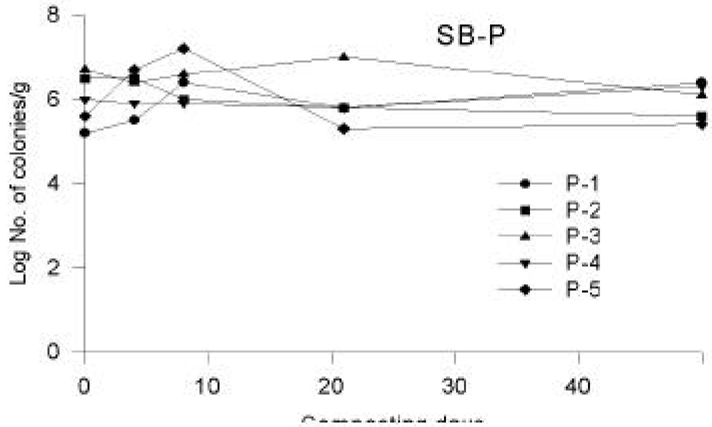
퇴비내 장내세균수는 퇴비시료에 따라 차이가 있었으나 초기 단계의 장내세균수는 10^4 10^6 cfu/g이었으나 고온기를 거치면서 C-1, C-2, C-5 시료중의 장내세균은 급격히 감소하여 숙성후에도 전혀 존재하지 않았는데 P-3, P-4, C-3, C-4 시료의 경우 냉각기 이후 숙성과정에서 다시 증가하는 경향을 나타내었다 (그림 4-18, 4-19).



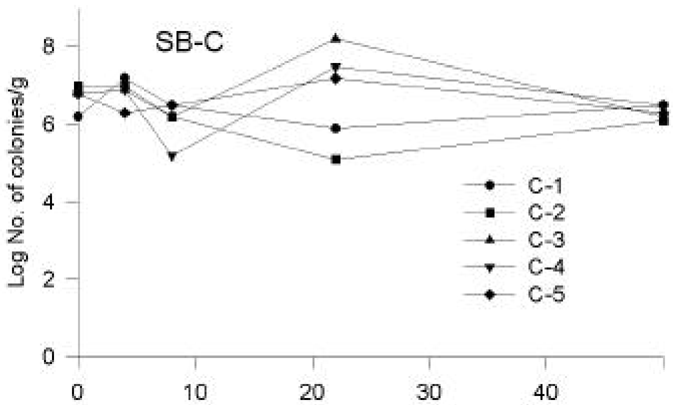
<그림 4-10> 돈분을 이용한 퇴비화과정중 호기성 세균수의 변화



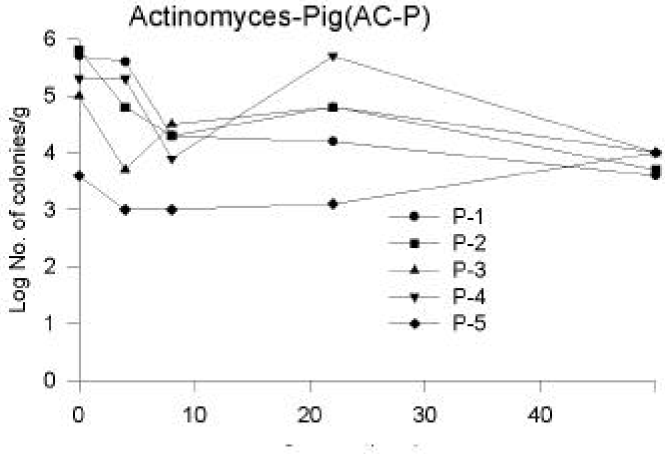
<그림 4-11> 계분을 이용한 퇴비화과정중 호기성 세균수의 변화



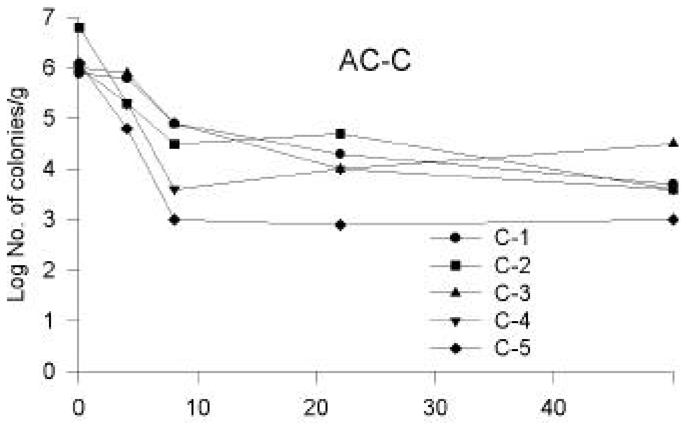
<그림 4-12> 돈분을 이용한 퇴비화과정중 포자수의 변화



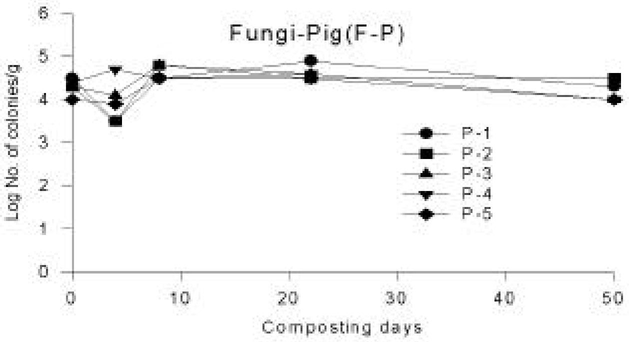
<그림 4-13> 계분을 이용한 퇴비화과정중 포자수의 변화



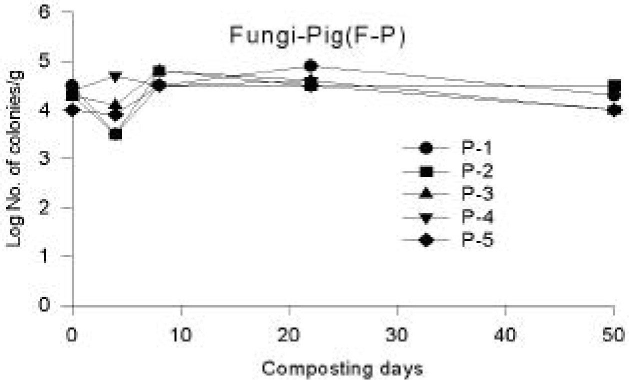
<그림 4-14> 돈분을 이용한 퇴비화과정중 방선균수의 변화



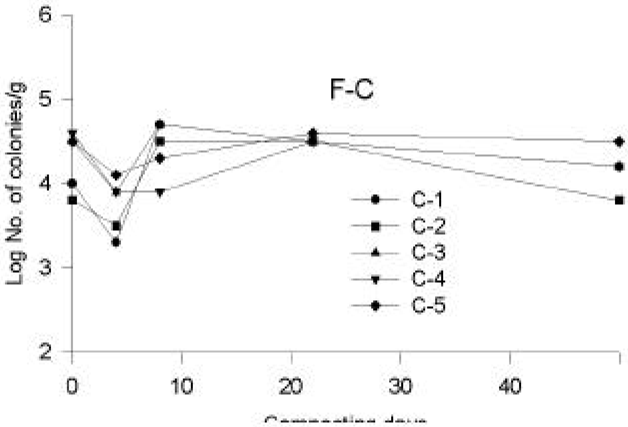
<그림 4-15> 계분을 이용한 퇴비화과정중 방선균수의 변화



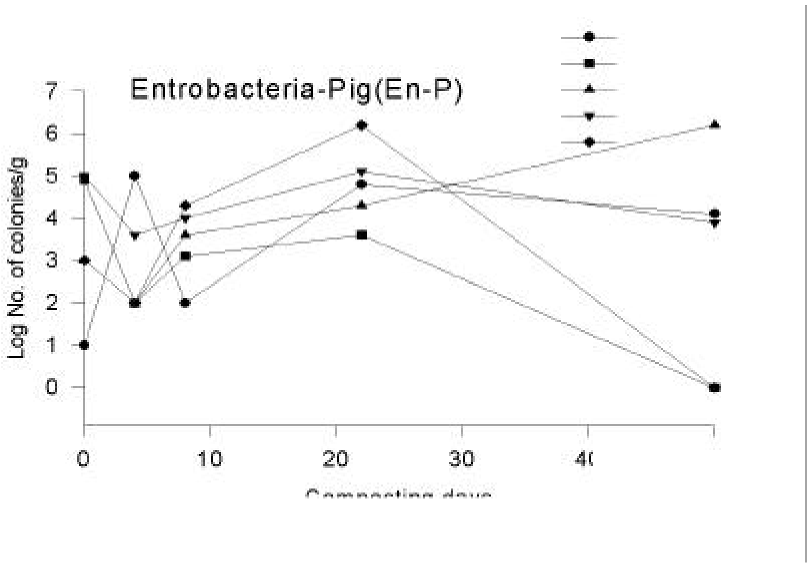
Fungi-Pig(F-P)
Log No. of colonies/g
0
1
2
3
4
5
6
0
10
20
30
40
50
Composting days
P-1
P-2
P-3
P-4
P-5



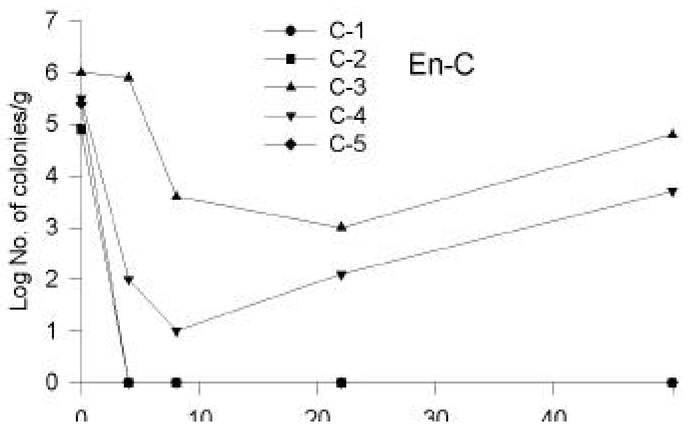
<그림 4-16> 돈분을 이용한 퇴비화과정중 사상균수의 변화



<그림 4-17> 계분을 이용한 퇴비화과정중 사상균수의 변화



<그림 4-18> 돈분을 이용한 퇴비화과정중 장내세균수의 변화

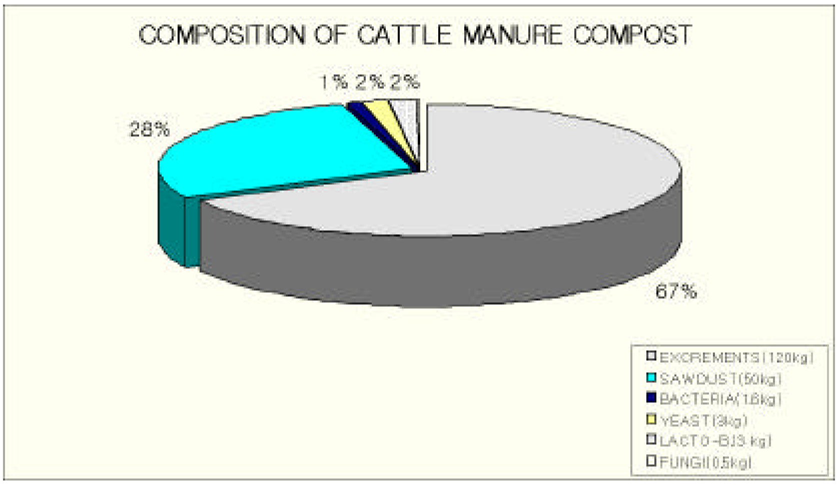


<그림 4-19> 계분을 이용한 퇴비화과정중 장내세균수의 변화

제 2절 미생물제제의 퇴비생산에의 적용

1. 우분의 퇴비화

최종 선정된 미생물제제의 효과를 실험하기 위하여 축산시설로부터 발생된 생분을 이용하여 퇴비화 작업을 수행하였다. 퇴비 제조에는 우분과 톱밥을 이용하였는데 2개의 대조구와 4개의 실험구를 120 kg 생우분과 50 kg 톱밥을 균질하게 혼합하여 제조하였다 (그림 4-20). 대조구 2 (A, B), 실험구 4 (C, D, E, F)를 제조하였는데, 실험구의 경우에는 각각 미생물제제의 투입량을 달리 첨가하여 주었다. 실험구 C의 경우는 퇴비제조 초기에 세균과 곰팡이를 함께 넣어 주었고, 나머지 실험구 D, E, F는 각기 다른 비율 (1배, 3배, 5배)의 세균성 미생물제제를 첨가하되, 곰팡이의 경우에는 50 ℃이상으로 퇴비온도가 상승하게되면 거의 사멸하므로 40 ℃ 이하로 온도가 떨어지는 후발효 기간에 첨가하여 주었다. 이번 퇴비화 실험을 통해서 얻어진 결과에서 편의상 대조구와 실험구 C와 F만을 기록하였다.

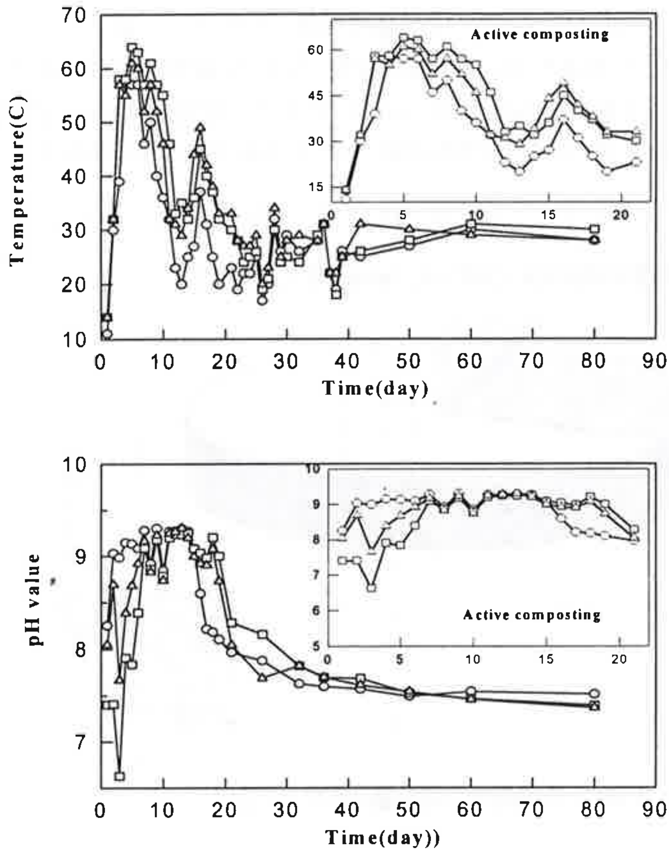


<그림 4-20> 축분퇴비 제조를 위한 조성비

가. 퇴비화 과정중의 물리적 특성 변화

퇴비화 과정의 초기에 미생물이 활성화되기에 최적의 수분함량은 60 %

정도이며 본 실험의 초기 함수율은 60 - 62 %를 유지하였다. 수분함량은 퇴비화 과정동안 55 - 60 %를 유지하면서 서서히 감소하여 퇴비화 종료시점에는 55 % 정도로 미생물이 생장하기에 적절한 함수율로 알려져 있는 55 - 60 % 범위를 유지하였다 (Gray 등, 1971). 그리고 온도의 상승은 초기 25 ℃에서 2 일째에 대조구는 37 ℃를 유지하였으나 실험구는 50 ℃를 넘어섰고 퇴비화 전 과정을 통하여 실험구가 대조구에 비해 5 - 10 ℃ 가량 높게 유지되었다 (그림 4-21).



<그림 4-21> 우분의 퇴비화 과정동안 온도와 pH의 변화

○, 대조구; □, 실험구1; △, 실험구2

이것은 축분 퇴비화를 위해 첨가해 준 미생물제제의 효과로 투여한 미생물들이 50 ℃ 이상의 고온에서도 생리적 활성을 갖는 미생물임을 고려하면 주발효 기간의 단축은 미생물제제의 영향으로 사료된다. 또한 유기물의 분해는 미생물 활성과 관련성을 지니며, 60 ℃ 이상의 퇴비화 온도는 오히려 분해율을 낮추고 38 - 55 ℃의 범위에서 최적의 분해율을 보이는 것으로 알려져 있다 (Kuter 등, 1985). 본 실험의 경우 38 - 55 ℃의 온도 범위는 15 일간 유지되면서 유기물의 분해가 효과적으로 이루어졌다고 할 수 있다. 퇴비화 15 일째 이후에 온도의 하강과 수분의 증발을 고려하여 물을 첨가하여 주었는데, 이후에 다시 온도가 45 - 50 ℃ 정도로 상승하였다. 이는 적절한 수분함량이 미생물의 활성에 상당한 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 실험구 F의 경우 퇴비화 온도가 40 ℃ 이하로 하락한 17 일째에 *Pseudoallescheria boydii*, *Rhodotorula rubrum*을 첨가하여 주었는데 fungi의 경우 50 ℃이상의 온도를 유지하는 주발효 기간동안에 대부분 사멸하기 때문에 후발효 기간에 첨가하여 유기물 분해효율을 극대화하고자 하였다. 이후의 퇴비화 과정은 30 ℃ 전후로 온도를 유지하면서 퇴비화가 완료되었다. 이러한 퇴비화 과정 중 55 ℃ 이상의 기간이 일주일 이상 유지됨으로써 식물 병원성 미생물을 포함한 독성 미생물들의 치사효율을 더 높일 수 있었다고 기대된다 (Burge 등, 1978). 퇴비 부숙의 지표로써 퇴비화 과정중의 온도 변화를 이용하여 부숙도 판정 기준을 사용한 실험 결과를 고려하면 (Bach 등, 1984), 이번 퇴비화 과정은 상당히 효율적으로 퇴비화가 진행되었다는 결론을 얻을 수 있다.

한편 pH는 대조구에서 초기 pH가 8.4에서 시작되었고 실험구 C은 넣어준 *Lactobacillus plantarum*와 *Bacillus subtilis*, *Paenibacillus marcerans*의 영향으로 pH가 7.5였고 실험구 2는 8.1에서 퇴비화가 시작되었다 (그림 4-21). pH 변화의 양상은 1 - 5 일째까지는 대조구의 pH가 높았으나, 그 이후 5 - 15 일째까지는 대조구와 실험구 모두에서 pH 9.0정도로 유지되었으며, 16 - 20 일째는 대조구만이 계속 pH 9.0을 유지하면서 서서히 감소되어 이후에 pH가 대조구보다 실험구에서 약간 높게 진행되었다. 이러한 결과는 초기에 배양체에 포함된 유기산의 영향과 유기물의 분해로 인한 영향으로 pH가 낮으나, 2 일째 이후로 암모니아태 질소의 생성이 유기산의 양보다 많아짐에 따라 pH가 급격히 증가하여 5 일가량 더 높은 pH를 유지한 것으로 보인다. 이것은 실험구에 투여한 미생물 제제의 영향으로 분뇨 내에 포함된 질소원들이 분해되면서 암모니아성 질소를 생성하여 pH에 영향을 준다고 설명한 다른 실험 결과와 유사한 경향을 보였다

(Mckinly 등, 1985., Koster, 1986). 또한 퇴비화 전 과정동안 pH 변화는 기존의 퇴비화 실험 결과 (Falcon 등, 1987)와 마찬가지로 초기에 중성 pH 에서 퇴비화가 시작되어 주발효 기간에는 알칼리성 pH를 유지하다가 후발효 기간으로 접어들면서 다시 중성 pH로 하락하는 경향을 보여주고 있다.

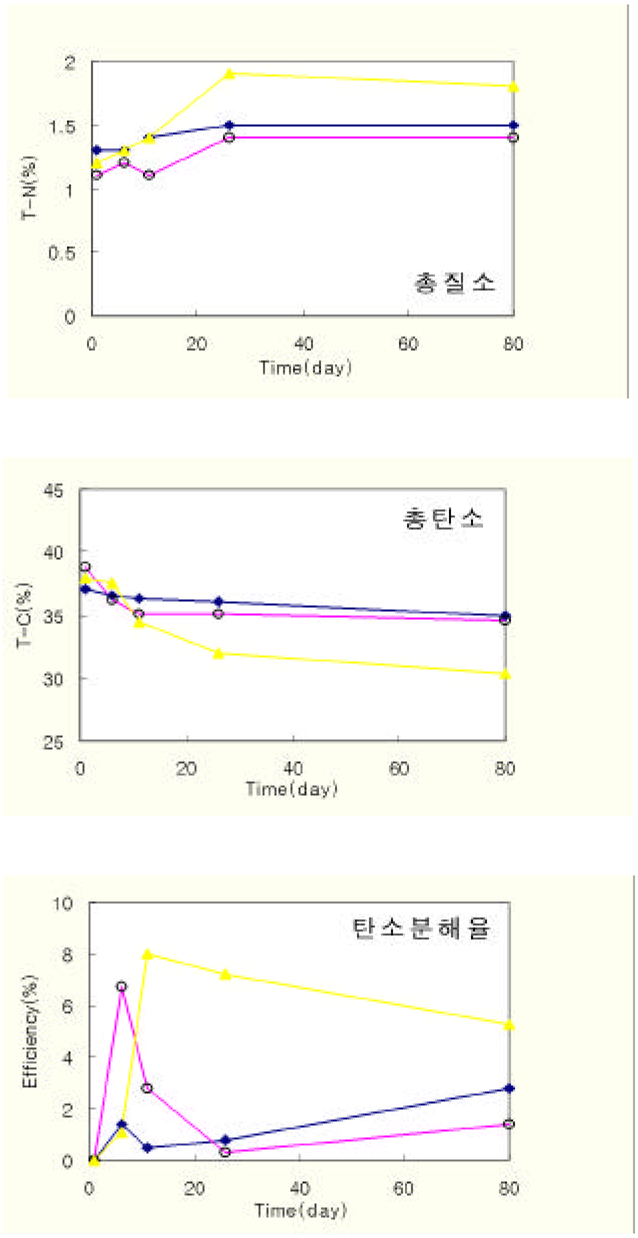
나. 퇴비화 과정중의 이화학적 특성 변화

퇴비화 과정동안 미생물 효소학적 조사와 병행하여 유기물의 분해와 관련된 이화학적 조사를 수행하였다 (그림 4-22).

축분의 경우 질소원이 과다하게 존재하기 때문에 퇴비화를 거치면서 탄소원의 부족으로 유기물의 분해가 늦어지게 되며, 탄소원을 다량 함유할 경우에는 질소원의 결핍으로 질소기아 현상이 발생하게 된다. 그러므로 퇴비화 초기의 C/N ratio는 미생물이 유기물을 분해할 수 있는 여건을 조성하는데 중요한 요인이 된다 (Terman 등, 1973). 질소원으로 생우분과 탄소원으로 톱밥을 이용한 퇴비화에서 대조구의 경우 초기 C/N ratio가 28.4로 조사되었고 실험구 C은 32.3, 실험구 F는 34.5로 조사되었는데 이는 기존에 알려진 최적 초기 C/N ratio가 25 - 35이라는 것 (Gray 등, 1971)에 견주어보면 퇴비화가 진행되는데 큰 무리가 없는 조건이었다. 그리고 최종/최초의 C/N ratio가 0.8 이하이면 퇴비화가 완료되었다고 볼 때 (Morel, 1989), 실험구는 26 일 이후의 시료에서 0.8 이하의 값을 나타낸 반면에, 대조구의 값은 퇴비화 종료시점에서 0.8에 근접한 값을 나타내었다.

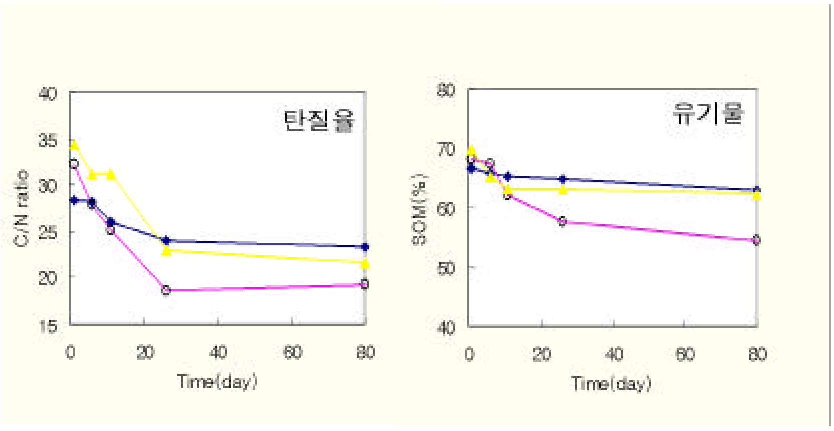
Finstein 등 (1985)은 퇴비화가 질산화 과정 (nitrification)이라고 주장하였는데 본 실험에서 암모니아태 질소는 퇴비화가 진행될수록 감소하였고 질산태 질소는 증가하였지만 대조구와 실험구에서 큰 차이가 발견되지 않았다. 이러한 질산화 과정중 뒤집기를 통한 적절한 공기의 공급이 없을 경우 식물독성 물질인 암모니아가 생성되어 악취뿐만 아니라 질소원의 유실 및 퇴비로서의 안전성에 문제가 발생할 수 있다 (Wong, 1985). 그러나 병원성 미생물을 사멸시키는 긍정적 효과도 기대할 수 있다 (Bauman 등, 1987).

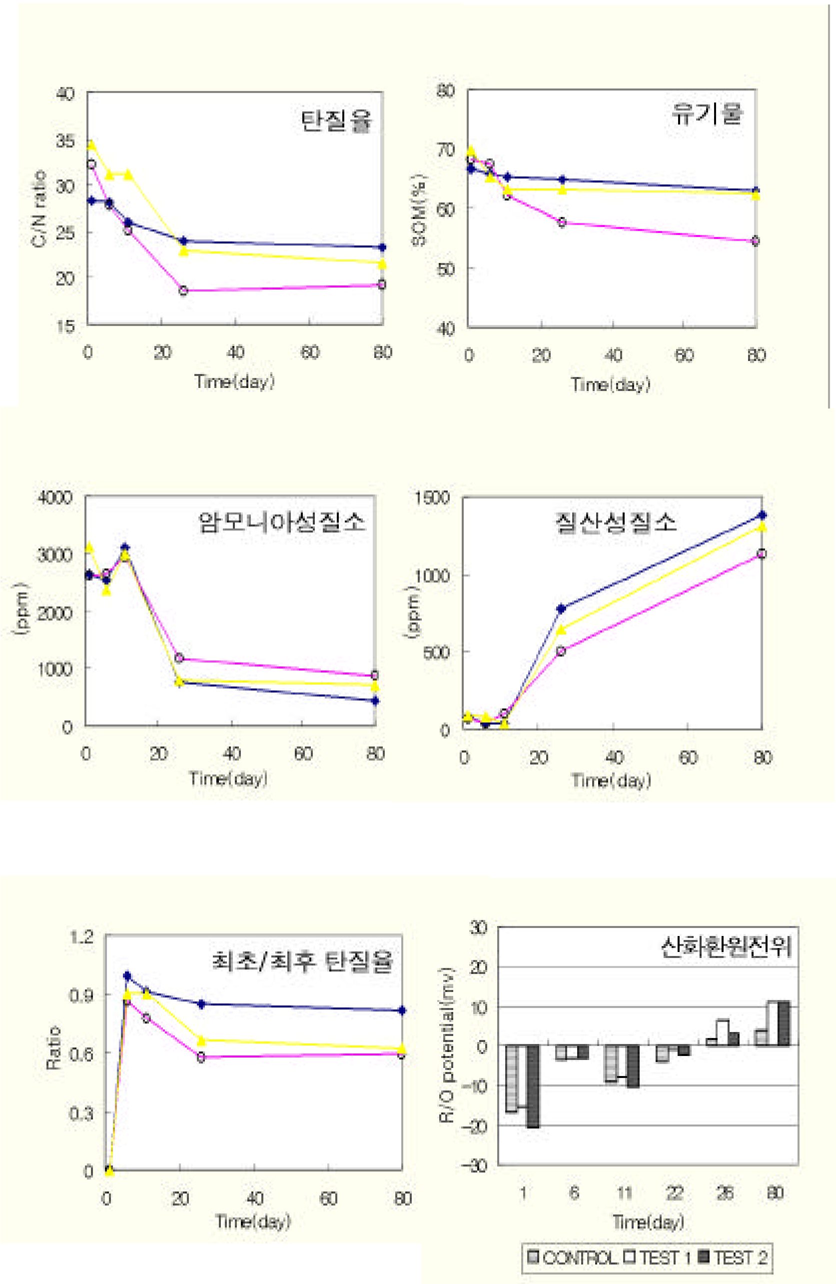
한편 유기물의 함량은 대조구와 실험구 F의 경우 퇴비화 전 과정에서 60 - 65 % 정도를 유지하였고 실험구 C은 55 % 정도까지 감소하였다. 퇴비화후의 유기물함량은 퇴비 품질기준에 적합한 것으로 조사되었다.



<그림 4-22-1> 우분퇴비화 과정중 화학적 변화

◆, 대조구; ○, 실험구1; △, 실험구2


40
35
30
25
20
15
C/N ratio
탄질율
0
20
40
60
80
Time(day)
80
70
60
50
40
SOM(%)
유기물
0
20
40
60
80
Time(day)



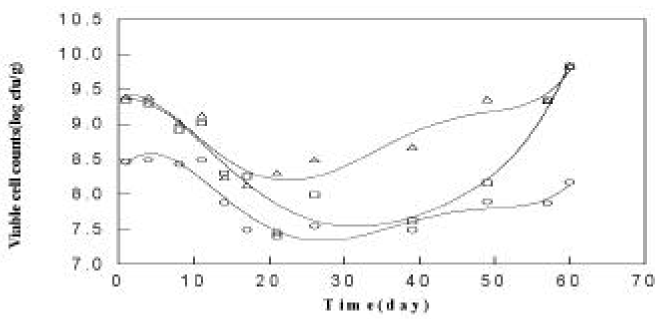
<그림 4-22-2> **우분퇴비화 과정중 이화학적 변화**

◆, 대조구; ○, 실험구1; △, 실험구2

퇴비 내의 유기물의 분해는 산화반응이므로 산화·환원전위 (redox potential)를 조사해 보면 음수값에서 양수값으로 전환되는 시점을 퇴비의 부숙단계로 보는 견해도 있다 (Ponnamperuma, 1981). 돈분이나 계분퇴비의 경우 이러한 산화·환원전위값이 50 일째 이후에나 양수값을 보이는데 본 실험에서는 26 일째의 시료에서부터 산화·환원전위값이 양수값을 보여, C/N ratio의 결과와 함께 본 실험의 퇴비화가 상당히 효율적으로 이루어졌음을 시사해 준다.

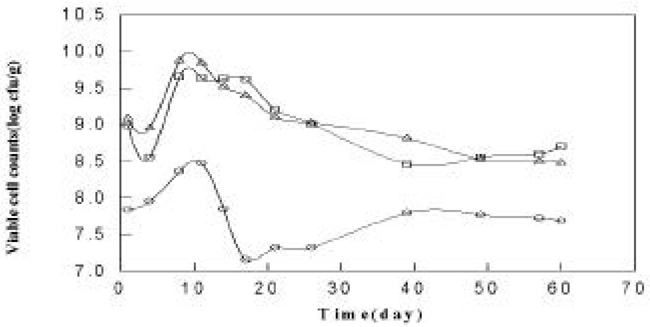
다. 퇴비화 과정중의 미생물 군집 변화

퇴비화 과정동안 나타나는 미생물 활성의 변화에 관한 것은 알려진 것이 거의 없다 (Hoitink 등, 1986). 군집의 변화를 중온균과 고온균으로 나누어 조사하였다. 우선 중온균의 경우, 온도가 높은 주발효 기간동안을 거치면서 초기의 균수에 비해 점차로 감소하다가 온도가 하락하는 후발효 기간으로 접어들면서 중온균의 수가 상승하기 시작되었다 (그림 4-23). 그리고 대조구에 반해 실험구에서 균수가 10 배 정도 높게 나타났으며, 특히 실험구 2에서 균수가 더욱 높게 조사되었다. 이러한 중온균의 변화는 후발효 기간에 다시 증가하기 시작하는데 고온에서 내성을 갖는 균주나 내생포자를 형성하는 균주들이 고온에서 휴지기 상태로 존재하다 온도가 하락하면서 활성을 갖기 때문으로 추측된다. 50 ℃ 이상의 고온에서 자라는 고온균의 변화는 퇴비화 과정의 온도 변화와 유사한 경향을 보였다 (그림 4-24).



<그림 4-23> 퇴비화 과정중 중온균의 변화

○, 대조구; □, 실험구1; △, 실험구2



<그림 4-24> 퇴비화 과정중 고온균의 변화

○, 대조구; □, 실험구1; △, 실험구2

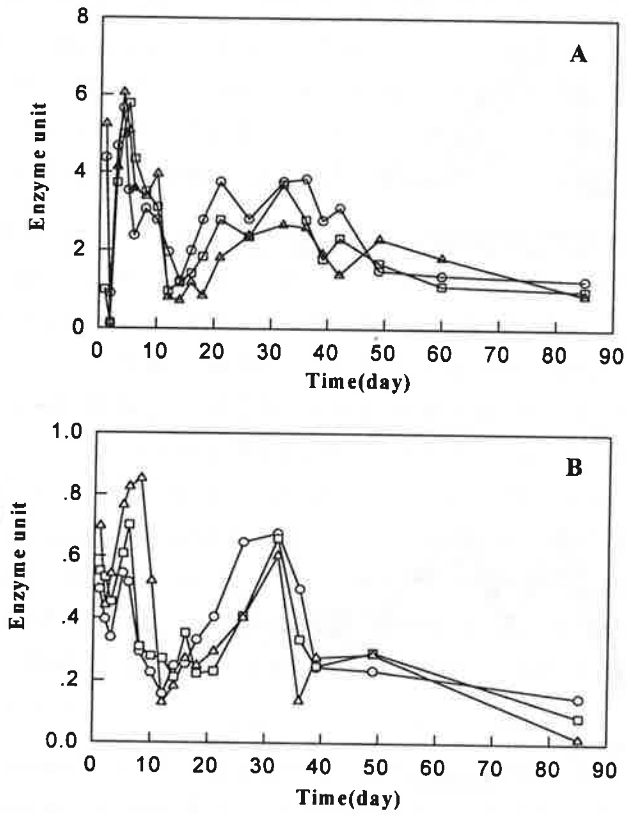
주발효 기간에 분리되는 대부분의 균주는 thermophilic bacteria로서 특히 *Bacillus* spp.가 많은 수를 차지한 것으로 조사되었는데, 이는 도시 고형 폐기물을 이용한 퇴비화 실험의 결과와 유사하였다 (Finstein, 1975). 대조구는 주발효 기간에 10^8 cfu/g 정도로 나타났으나 실험구는 10^9 cfu/g 정도의 균수를 보였고, 온도가 하락하면서 고온균이 활성을 잃게되어 점차로 감소하여 하락하였다. 이번 퇴비화 실험에서 미생물의 수가 미생물 제제의 영향으로 10^8 - 10^{10} cfu/g 정도로 조사되었는데 반해, 다른 학자들에 의해 수행된 농업 폐기물을 이용한 퇴비화 실험에서는 초기에 10^7 - 10^8 cfu/g 정도의 미생물이 조사되었고 이후에 후발효 기간에는 10^5 - 10^6 cfu/g 정도까지 감소하다 점차로 증진되는 결과를 보였다 (Falcon 등, 1987., Andrews 등, 1994). 그리고 실험구 C에 비해 미미한 차이이지만 실험구 F의 고온균의 수가 높게 조사되는 것은 첨가된 제제의 양을 달리 하였기 때문이다. 두 실험구는 투여한 제제가 고온에서 활성을 보이는 균주를 투여하였으므로 전 과정에서 대조구보다 높게 조사되었다.

라. 퇴비화 과정중의 효소학적 특성 변화

퇴비화는 퇴비재료중의 유기물이 미생물에 의해 분해되므로 열을 발산하게 되며, 이러한 유기물의 분해효율은 미생물에 의해 외부로 분비되는 효소의 활성도로 추적, 확인할 수 있다. 퇴비화 과정의 미생물에 의한 효

xylanase, phosphatase, urease를 조사하였다 (그림 4-25).

이러한 가수분해 효소의 활성을 퇴비화 과정동안 조사함으로써 미생물의 분해로 인한 유기물 성분의 변화를 미생물에 의한 활성으로 나타낼 수 있다 (Gil-Sotres 등, 1992). 우선 퇴비화 과정이 온도 변화와 더불어 진행되므로 효소활성 측정을 위한 배양온도를 30 ℃와 50 ℃로 나누어 조사하였는데 amylase, cellulase, xylanase, phosphatase는 50 ℃에서 효소반응을 수행할 때 높게 조사되었다. 이것은 도시고형 폐기물을 이용한 퇴비화 실험 결과와 일치하였다 (Chino 등, 1983). Urease의 경우는 온도에



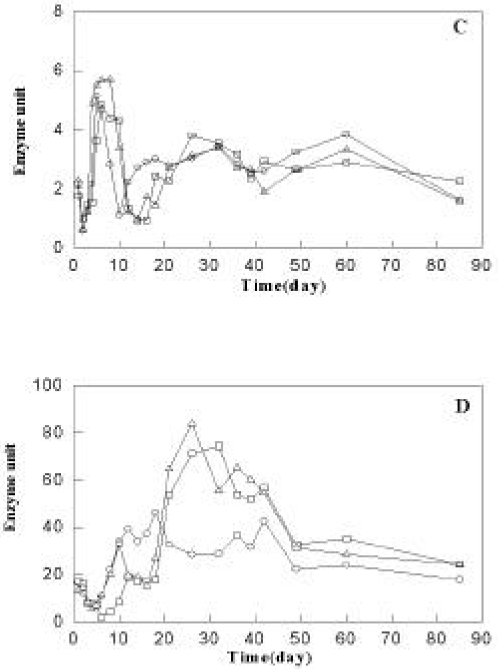
<그림 4-25-1> 우분퇴비화 과정중 효소활성 변화

A, amylase; B, cellulase; C, xylanase; D, phosphatase; E, urease;

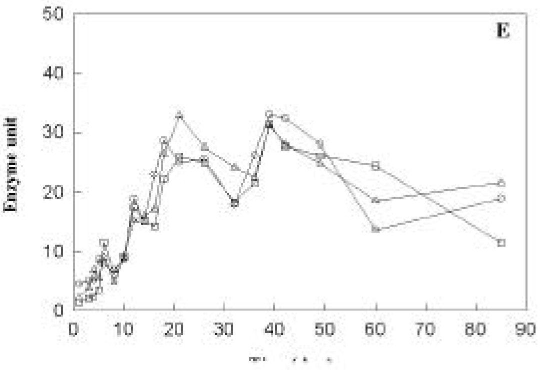
○, 대조구; ●, 실험구1; ▽, 실험구2

○, **대조구**; ●, **실험구**1; ▽, **실험구**2

(Continued)



(Continued)



<그림 4-25-2> **우분퇴비화 과정중 효소활성 변화**

A, amylase; B, cellulase; C, xylanase; D, phosphatase; E, urease;

○, 대조구; ●, 실험구1; ▽, 실험구2

상관없이 유사한 값으로 조사되었다. 또한 Phosphatase의 경우 buffer solution의 pH를 6.0과 9.0의 두가지를 사용하여 효소활성을 조사한 결과 pH 9.0에서 더 높은 값을 얻었고 이 결과는 유기성 폐기물을 이용한 phosphatase의 실험에서와 비슷한 결과이었다 (Garcia 등, 1993). 미생물 군집의 변화와 관련하여 amylase, cellulase, xylanase의 경우 중온균에서 고온균으로의 천이가 일어나면서 효소활성이 상당히 높게 증가하다가 후발효기간으로 접어들면서 고온균의 감소로 인하여 효소활성이 감소하였다. 그러나 후발효 기간에 다시 중온균과 사상균의 생장으로 효소활성은 다시 증가하기 시작하면서 유기물의 분해가 이루어졌다. 이는 미생물 군집의 천이와 유기물을 분해하기 위한 효소활성이 관련성을 갖고 있다는 사실을 알 수 있다. 퇴비화 초기에는 축분성분 내의 탄수화물류를 분해하여 단일당으로 전환시켜 미생물이 이용할 수 있도록 작용하는 amylase 활성이 나타나게 된다. amylase는 주발효 기간동안 상당히 높은 활성을 보인 뒤 온도가 내려가면서 활성이 저하되다가 후발효 기간의 후반에 활성이 약간 증가하는 경향을 보였다. 주발효 기간에는 대조구보다 실험구에서 amylase 활성이 약간 높았지만 후발효 기간으로 접어들면서 대조구에서 증가하였다.

분해가 어려운 cellulose나 hemicellulose의 분해에 관여하는 효소인 cellulase는 그림 4-25에서 보듯이 주발효 기간동안 실험구에서 뚜렷이 높은 활성도를 나타내었다. 이것은 미생물제제를 위한 균주 선발시 cellulose의 분해능이 뛰어난 균주들을 선발하여 제제화 하였기 때문이다. cellulose의 분해능이 우수한 균주의 사용으로 주발효 기간에 높은 활성을 보이며, 후발효 기간에는 사상균의 번식으로 다시 활성이 높아지는 경향성을 보였다. 이러한 결과는 cellulase activity가 초기에 낮으나 후발효 기간에 cellulose 분해능이 높은 사상균 등의 영향으로 활성이 높아진다는 다른 실험 결과 (Chino 등, 1983)와 다른 양상이다. 실험구 C와 F의 경우 실험구 F에 더 많은 미생물 제제를 투여했기 때문에 더욱 높은 활성을 보였는데, 퇴비화의 효율을 높일 수 있는 제제 사용량에 대한 기준을 설정해야 할 것이다.

Xylanase의 경우는 amylase와 미찬가지로 분해가 쉬운 성분들을 이용하므로 주발효 기간에 효소의 활성이 높게 나타났으며 후발효 기간에 다시 높아졌다가 하락하는 유사한 결과를 얻었다. 실험구 F가 주발효 기간에 대조구에 비해 약간 높은 활성을 보였지만 실험구 C는 상대적으로 활성이 약하였는데 이는 첨가된 *Lactobacillus* 균종에 의해 발생된 유기산이 효소의

활성을 저해한 것으로 판단되었다.

Phosphatase의 역할은 유기인을 무기인으로 전환시켜 식물체를 비롯한 생물체들이 이용할 수 있도록 하는 효소로 퇴비 내에 존재하는 유기물의 좋은 지표가 된다 (Hattori, 1988). 또한 이 효소는 미생물의 활성과 깊은 관련을 맺고 있어서 퇴비화 과정의 미생물 활성과 연관성이 높다 (Kuprevich 등, 1972). 주발효 기간에 대조구, 실험구에서 현저히 낮은 활성도를 보였으나 후발효 기간으로 접어들면서 대조구에 비해 실험구가 상당히 높은 활성을 보인 뒤 퇴비화가 마무리되면서 낮아지기 시작했다. 이러한 phosphatase의 변화경향은 기존의 결과와 유사한 결과를 나타냈으며 (Chino 등, 1983), 대조구와 실험구에서 현저한 차이를 보이므로 실험구에 투여한 미생물 제제의 역할을 확인할 수 있다.

축분은 요소를 포함한 질소원을 다량으로 함유하고 있다. 따라서, urease는 분뇨내의 요소를 기질로 하여 암모니아성 질소와 탄산가스를 방출하는 등, 유기물 분해과정의 질소순환과 깊은 관련성을 갖고 있다 (Chruba 등, 1992). 퇴비화 과정중의 urease의 경향은 대조구와 실험구에서 주발효·후발효 기간에 상관없이 계속 증가하다가 후발효 기간의 후반기에 접어들면서 점차로 감소하는 경향을 보였다. 그리고, 대조구와 실험구에서 요소분해 효소의 활성도는 차이를 보이지 않은 것으로 보아 이는 미생물 제제가 요소의 분해에는 크게 기여하지 않은 것으로 생각되었다.

위와 같은 퇴비화 과정중의 유기물 분해와 관련된 효소활성의 변화를 조사한 결과 각 효소의 기질 특이성에 따른 분해시점이 다르게 조사되었다. 즉 amylase와 xylanase의 경우 비교적 분해가 용이하고 대부분의 미생물이 이용할 수 있으므로 퇴비화 초기에 가장 먼저 높은 활성을 보였으며 이어서 고온성 미생물 제제의 영향으로 cellulase가 주발효 기간에 높게 조사되었고 온도가 하락하면서 투여한 사상균과 다시 생장한 중온균에 의해 효소활성이 증가하였다. 그러나 phosphatase는 초기에 활성이 거의 나타나지 않다가 유기물이 상대적으로 빈약한 후발효 기간에 활성이 높게 조사되었고 urease는 퇴비화 전과정에서 활성이 나타나는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 퇴비화 시기에 따른 각 시료 내에 포함되어 있는 생리적 기능별 미생물 군집의 변화와 같은 양상을 보였다.

마. 상관관계 분석

퇴비화 과정을 거쳐서 생산된 퇴비 (compost)의 품질 기준에 대한 정의가 사실상 마련되어 있지 않고 미생물을 포함한 많은 외부적 요인들에 의

해서 퇴비화가 진행됨으로 한가지 요소에 의한 부숙도 판정은 곤란하다 (Mckinly 등, 1985). 그러므로 퇴비화 과정중에 조사된 물리적, 화학적, 미생물학적 변수간의 상관 분석을 수행하여 서로간의 연관성을 조사함으로써 퇴비화 과정중의 효율적 조절은 물론 부숙도 판정을 위한 기준 설정의 가능성을 탐색하고자 하였다. 앞서 언급한 항목들을 이용하여 상관 분석을 조사하였다 (표 4-8).

온도는 미생물학적 변수와 특별한 상관관계가 존재하지 않고 pH의 경우 고온성 미생물과는 강한 양의 상관관계, 중온성 미생물과는 음의 상관관계가 존재한다. 이것은 유기물의 분해가 활발해지면서 온도가 상승하여 고온균의 활성이 더욱 높아지면서 pH가 증가하는 것과 같은 결과이다. 탄수화물의 분해와 관련이 있는 amyalse의 경우 총탄소, 유기물과 강한 양의 상관관계를 보였고 총질소와는 음의 상관관계를 보였다. 이것은 amyalse activity와 관련하여 생각하면 예상했던 결과이다. Cellulase는 많은 조사항목에서 연관성을 갖는 것으로 조사되었는데 특히 총질소, 암모니아태 질소, 질산태 질소와는 강한 음의 상관관계가 존재하고 총탄소, 총질소와는 양의 상관관계가 존재하였고 pH, amyalse와 관련성이 있는 것으로 밝혀졌다. 그러나 xylanase는 거의 모든 항목과의 상관분석에서 유의성이 없었으며 phosphatase의 경우에는 총질소와는 강한 양의 상관성이 조사되었는데 그 결과는 토양에서 수행한 실험의 결과와 유사하였다 (Nannipieri 등, 1980). 토양에서 phosphatase와 urease는 pH와 관련성이 존재한다는 결과가 있으나(Dhruva 등, 1992) 그러한 유의성이 이번 퇴비화 실험에서는 보이지 않았다. Urease는 총탄소, 유기물과는 강한 음의 상관성을 보였고 총질소와는 강한 상관성, 암모니아태 질소와는 음의 상관성이 조사되었다. 또한 urease는 amylase, cellulase와는 음의 상관성, phosphatase 와는 강한 양의 상관성이 밝혀졌는데 Nannipieri 등 (1980)의 결과와 같은 양상을 보였다. 고온균의 변화는 질산성 질소와는 음의 상관성이 존재하고 당량과는 강한 관련성이 밝혀졌으며 특히, 고온균의 변화와 cellulase activity 사이에는 강한 상관관계가 존재한다. 이러한 결과는 미생물 제제 개발시 고온에서 cellulase activity가 높은 균주를 선발하여 퇴비화 과정에 투여한데 기인한 것이다. 도시 하수 슬러지를 이용한 퇴비화 실험에서 미생물학적 요소로서 cellualse activity가 부숙도를 판정하는 지표가 될 수 있다는 보고가 있다 (Chino 등, 1983). 이러한 결과와 더불어 화학적인 변수중에서 기존의 퇴비부숙의 지표로 많이 이용되어 온 C/N ratio와 산화·환원전위는 많은 항목들과 상관성이 있는 것으로 조사되었다.

<표 4-8> **우분의 퇴비화 과정 중 조사된 이화학적 및 미생물학적 파라미터간의 상관관계**

	Temp	pH	T-N	T-C	C/N	OM	NH_4^+-N	NO_3^--N	T-S	R-S	R/O	E-A	E-C
1. Temp													
2. pH	0.553												
3. T-N	- 0.534	- 0.583											
4. T-C	0.497	0.514	- 0.954***										
5. C/N	0.457	0.611	- 0.982***	0.961***									
6. OM	0.045	0.067	- 0.785**	0.842***	0.795**								
7. NH_4^+-N	0.447	0.687*	- 0.952***	0.888***	0.979***	0.692*							
8. NO_3^--N	- 0.501	- 0.759**	0.850***	- 0.881***	- 0.918***	- 0.583	- 0.919***						
9. T-S	0.861***	0.626	- 0.639	0.704*	0.594	0.277	0.522	- 0.664					
10. R-S	0.853***	0.815***	- 0.473	0.356	0.414	- 0.160	0.481	- 0.512	0.743*				
11. R/O	- 0.177	0.476	0.879***	- 0.873***	- 0.942***	- 0.838***	- 0.935***	0.864***	- 0.325	- 0.149			
12. E-A	0.168	0.152	- 0.722*	0.835***	0.735*	0.881***	0.603	- 0.615	0.492	0.030	- 0.710*		
13. E-C	0.510	0.736*	- 0.787**	0.846***	0.811***	0.567	- 0.787**	- 0.856***	0.779**	0.509	- 0.691*	0.749*	
14. E-X	0.291	0.408	- 0.148	0.292	0.132	0.017	0.037	- 0.267	0.672*	0.368	0.063	0.333	0.54
15. E-P	- 0.583	- 0.377	0.820***	- 0.672*	- 0.705*	- 0.566	- 0.688*	0.441	- 0.500	- 0.502	0.535	- 0.437	- 0.47
16. E-U	- 0.470	- 0.371	0.900***	- 0.863***	- 0.846***	- 0.813***	- 0.778**	0.631	- 0.549	- 0.302	0.749*	- 0.763**	- 0.71
17. TMP	0.621	0.931***	- 0.578	0.587	0.598	0.125	0.613	- 0.767**	0.801***	0.853***	- 0.419	0.350	0.86
18. MSP	- 0.317	- 0.698*	0.179	0.180	0.304	0.201	- 0.416	0.612	- 0.284	- 0.514	0.313	0.055	- 0.41

Temp, temperature; T-N, total nitrogen; T-C, total carbon; C/N, carbon/nitrogen ratio; OM, organic matter; T-S, total sugar; R-S, reducing sugar; R/O, redox potential; E-A, amylase; E-C, cellulase; E-X, xylanase; E-P, phosphatase; E-U, urease; TMP, thermophiles; MSP, mesophile *, $P < 0.05$; **, $P < 0.02$; ***, $P < 0.01$

위와 같은 상관분석 결과를 비교할 때 C/N ratio, 산화・환원전위, cellulase activity간에는 퇴비부숙의 지표로서 상호 연관성이 존재한다. 그러므로 퇴비화 과정중의 효율적 조절을 위해 C/N ratio의 변화를 고려하면서 산화・환원전위의 값이 음수에서 양수로 전환되는 시점과 cellulase activity가 후발효 기간을 거치면서 증가하다가 감소하는 시점이 퇴비의 부숙과 깊은 관련성을 보이고 있다.

2. 다른 유기성폐기물의 퇴비화

우분의 퇴비화 과정연구와 더불어 돈분과 계분의 퇴비화 과정을 수행하였다. 표 4-9에서 보는바와 같이 온도변화는 발효 개시 후 3일에는 돈분퇴비와 계분 퇴비 모두 31 34 ℃를 보이고 있으나 5일후에는 60 ℃이상으로 발효가 되었고 발효 초기에는 대조구에 비해 효소제를 처리한것이 3 ℃정도 온도가 높게 나타났다. 또한 pH는 돈분 퇴비에 비해 계분 퇴비가 높았는데 이는 유기태 질소성분이 계분에 많이 존재하기 때문이다. 표에서 나타난 바와 같이 유기물 함량과 총 탄소함량은 돈분퇴비에서 점차로 증가하다 완만한 감소 경향을 보이며 효소제를 처리한 경우에는 좀 더 높은 수준을 유지하는데 이것은 섬유소의 분해에 효소제가 약간의 효과를 보였다고 할 수 있다. 총 질소의 변화는 돈분과 계분퇴비에서 점차로 감소하는 경향을 보였고 탄질율은 특별한 변화를 보이지 않다가 29일차에는 거의 30에 근접하였다. 총인산과 칼리의 경우 분해되는 성분이 아니므로 퇴비화 과정에서 별 차이가 없었고 총 당량은 계분 퇴비가 좀 더 높았으며 환원당 함량은 돈분 퇴비가 초기에 증가하다가 감소하는 경향을 보였다.

<표 4-9> 돈분・계분 퇴비화 과정중의 물리적, 화학적 변화

[돈분・계분 퇴비화 과정중의 pH 변화]

시 료 / 채취일	돈 분	돈분 + 효소	계 분	계분 + 효소
3 일차	7.76	7.77	7.85	7.88
7 일차	7.94	7.66	8.34	8.07
11 일차	8.37	8.45	8.89	8.67
15 일차	8.94	8.80	8.87	8.96
18 일차	8.95	9.05	9.12	9.15
21 일차	9.34	9.33	9.32	9.32
25 일차	9.37	9.26	9.35	9.31
29 일차	9.31	9.20	9.22	9.30

[돈분·계분 퇴비화 과정중의 온도 변화] (℃)

시료 / 채취일	돈 분	돈분+효소	계분	계분+효소
3 일차	33	34	31	31
5 일차	64	66	58	61
7 일차	64.5	68	56	57
8 일차	64.5	67	56	57
9 일차	64.5	67	52.5	53.5
10 일차	63	65	60	56
12 일차	58.8	62.5	51	52
13 일차	58	59	49	50
15 일차	58	60	49	50
16 일차	60	60.5	54	53
20 일차	58	59	48	49
24 일차	53	53	40	40.5
25 일차	45	46	40	48
29 일차	43	44	39	40

[돈분·계분 퇴비화 과정중의 총 탄소량(T-C) 변화] (%)

시료 / 채취일	돈 분	돈분 + 효소	계 분	계분 + 효소
3 일차	33.09	21.55	15.42	27.72
7 일차	33.76	34.62	26.97	18.97
11 일차	36.80	34.05	19.71	20.15
15 일차	25.45	36.59	18.04	19.02
18 일차	26.88	32.53	26.74	24.27
21 일차	25.60	27.41	23.49	22.55
25 일차	24.74	25.67	20.43	21.74
29 일차	21.88	25.01	19.60	19.87

[돈분·계분 퇴비화 과정중의 총 질소량(T-N) 변화] (%)

시료 / 채취일	돈 분	돈분 + 효소	계 분	계분 + 효소
3 일차	1.55	1.60	0.88	0.88
7 일차	1.49	2.00	1.14	1.16
11 일차	1.35	1.33	0.98	1.14
15 일차	1.34	1.32	0.88	1.31
18 일차	1.22	1.22	0.81	1.32
21 일차	1.07	1.11	0.83	1.03
25 일차	1.11	0.86	0.84	0.75
29 일차	0.77	0.83	0.70	0.67

[돈분 · 계분 퇴비화 과정중의 총 인(T-P) 변화] (%)

시 료 / 채취일	돈 분	돈분 + 효소	계 분	계분 + 효소
3 일차	2.10	2.40	1.75	1.20
7 일차	2.30	2.65	1.55	1.45
11 일차	1.70	1.40	1.20	1.30
15 일차	1.70	1.85	1.20	1.25
18 일차	1.90	1.55	0.95	1.00
21 일차	1.95	1.25	0.90	0.80
25 일차	1.20	1.45	0.90	0.65
29 일차	0.65	0.95	0.70	0.65

[돈분 · 계분 퇴비화 과정중의 총 칼륨(T-K) 변화] (%)

시 료 / 채취일	돈 분	돈분 + 효소	계 분	계분 + 효소
3 일차	0.05	0.05	0.04	0.04
7 일차	0.05	0.06	0.05	0.05
11 일차	0.05	0.05	0.05	0.06
15 일차	0.06	0.06	0.05	0.05
18 일차	0.06	0.06	0.05	0.05
21 일차	0.05	0.06	0.05	0.05
25 일차	0.05	0.05	0.04	0.04
29 일차	0.06	0.05	0.05	0.05

[돈분 · 계분 퇴비화 과정중의 암모니아성 질소(NH_4-N) 변화] (ppm)

시 료 / 채취일	돈 분	돈분 + 효소	계 분	계분 + 효소
3 일차	1587	881	813	770
7 일차	1347	1002	759	884
11 일차	1188	933	704	791
15 일차	1263	1082	700	725
18 일차	1126	993	858	926
21 일차	1061	806	875	1047
25 일차	646	586	1226	1128
29 일차	778	522	1103	1101

[돈분 · 계분 퇴비화 과정중의 질산태 질소(NO_3-N) 변화] (ppm)

시 료 / 채취일	돈 분	돈분 + 효소	계 분	계분 + 효소
3 일차	1534	1357	1287	1301
7 일차	1301	1283	1148	1282
11 일차	1282	1225	1065	1042
15 일차	1208	1150	824	801
18 일차	901	869	592	528
21 일차	829	834	573	598
25 일차	633	822	517	545
29 일차	600	694	508	496

[돈분 · 계분 퇴비화 과정중의 유기물(SOM) 변화] (%)

시 료 / 채취일	돈 분	돈분 + 효소	계 분	계분 + 효소
3 일차	57.07	37.15	26.58	47.79
7 일차	61.25	59.68	46.50	32.70
11 일차	63.44	58.70	33.98	34.74
15 일차	43.88	63.08	31.10	32.80
18 일차	46.34	56.08	46.10	41.84
21 일차	44.13	47.25	40.50	37.82
25 일차	42.68	44.25	35.22	38.88
29 일차	37.72	43.12	33.79	34.26

[돈분 · 계분 퇴비화 과정중의 총 당량(T-SUGAR) 변화] (ppm)

시료 / 채취일	돈 분	돈분 + 효소	계 분	계분 + 효소
3 일차	6048	7050	2880	4530
7 일차	5880	7180	3290	3695
11 일차	7195	5990	2250	3990
15 일차	4140	7195	3920	3050
18 일차	2843	6343	3270	3210
21 일차	6400	5660	2970	2320
25 일차	6200	5990	1084	2250
29 일차	6620	6920	2310	2880

[돈분 · 계분 퇴비화 과정중의 환원당량(Reducing-Sugar) 변화] (ppm)

시 료 / 채취일	돈 분	돈분 + 효소	계 분	계분 + 효소
3 일차	1380	10710	3840	3780
7 일차	4380	7310	2580	2870
11 일차	5580	4240	1380	1980
15 일차	3310	1380	3240	1040
18 일차	2110	1380	980	1380
21 일차	2440	2980	1380	580
25 일차	2780	2510	2710	980
29 일차	1380	1380	1580	1640

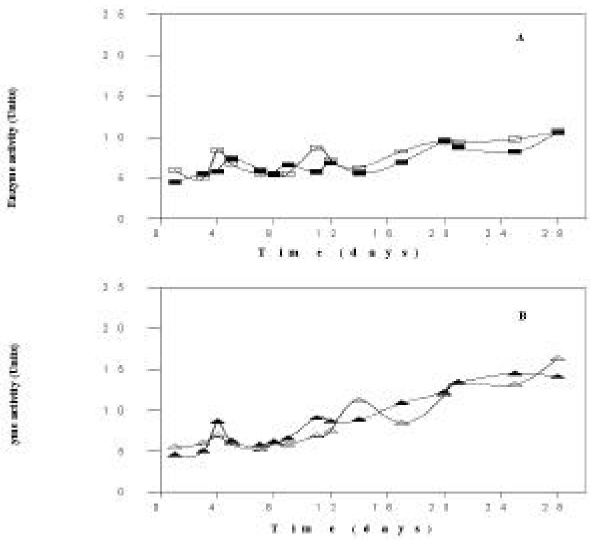
[돈분 · 계분 퇴비화 과정중의 탄질율(C/N Ratio) 변화]

시 료 / 채취일	돈 분	돈분 + 효소	계 분	계분 + 효소
3 일차	21.3	13.5	17.5	31.5
7 일차	24.0	17.3	23.6	16.4
11 일차	24.7	25.6	20.1	17.7
15 일차	19.0	27.7	20.5	14.5
18 일차	22.0	26.7	33.0	18.4
21 일차	23.9	24.7	28.3	21.9
25 일차	22.3	29.8	22.7	29.0
29 일차	28.4	30.1	29.2	29.7

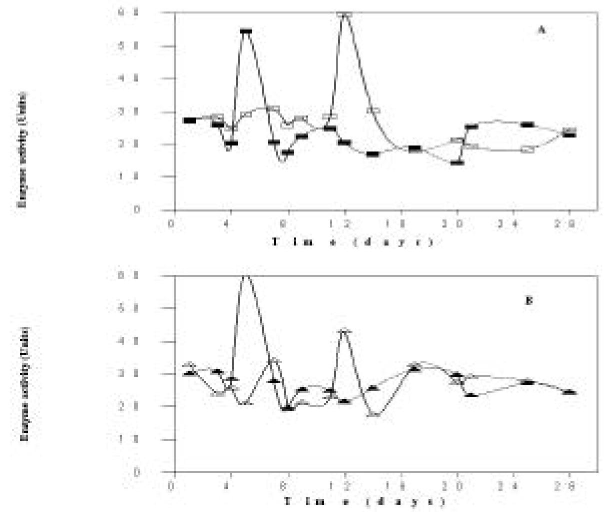
우분의 퇴비화 과정연구와 마찬가지로 돈분(A)**과 계분**(B) **퇴비의 발효 과정동안에 인산 분해효소, 요소 분해효소, 녹말 분해효소, 목질 분해효**

소, 섬유질 분해효소의 토양효소 활성도를 조사하였다 (그림 4-26).

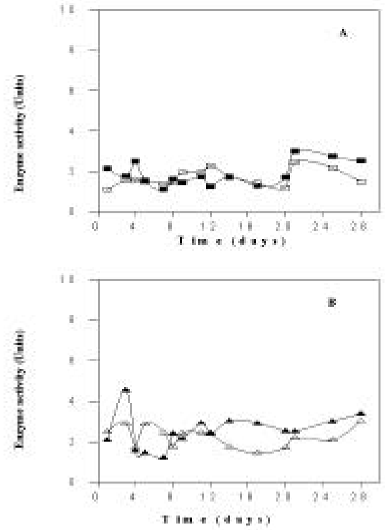
우선, 인산 분해효소의 경우 시기가 지남에 따라 점차적으로 증가하는데 이것은 우분 퇴비에서와 마찬가지로 온도가 감소하면서 효소의 활성도가 증가하는 양상과 유사하다. 요소 분해효소는 퇴비화 연구기간동안 거의 비슷한 수준의 활성도를 보였고 녹말 분해효소는 우분 퇴비에서와 마찬가지로 온도가 감소되면서 미미하지만 증가하기 시작했다. 목질 분해효소와 섬유질 분해효소는 퇴비화 전기간동안 우분 퇴비에서와 마찬가지로 증가하였다.



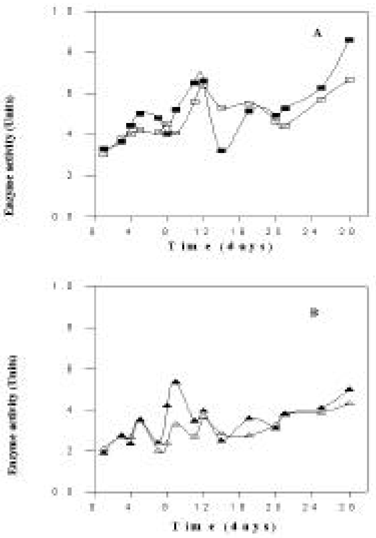
<그림 4-26-1> 인산분해효소 변화



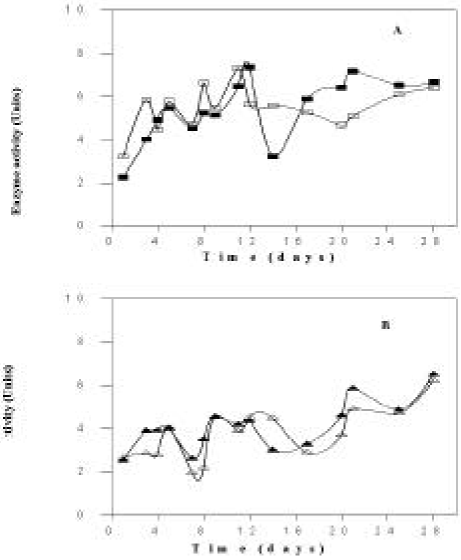
<그림 4-26-2> 요소분해효소 변화



<그림 4-26-3> 녹말분해효소 변화



<그림 4-26-4> **섬유질분해효소 변화**



<그림 4-26-5> **목질분해효소 변화**

퇴비화가 진행되면서 단일 탄소원을 이용하는 미생물 군집의 수의 변화와 이러한 단일 탄소원을 이용하기 위해 미생물들이 세포외로 분비하는 효소의 활성도 변화에는 이론적으로 유사하게 진행되어야 하나 실험적으로는 약간의 차이를 보이고 있다. 퇴비화 과정동안의 미생물 천이를 조사해보면 온도에 가장 민감한 영향을 보이고 있다. 그러므로 퇴비용 미생물제제의 개발시 주발효기간 동안에는 대부분의 중온균들은 사멸하게 되므로 고온에서 활성을 나타내는 미생물이 선발되어야하고 후발효기간에는 분해가 어려운 유기물들이 남게되므로 이러한 난분해성 유기물들을 분해할 수 있는 미생물의 경우는 접종시기를 고려해서 미생물 제제를 개발해야 하는 결론을 얻었다.

제 3절 사료첨가, 퇴비제조용 미생물제제의 일원화 및 적용범위 확장가능성 탐색

1. 개발된 미생물제제의 적용범위 확충

우분의 퇴비화를 위해 개발된 퇴비용 제제를 돈분 및 계분에 적용하는 실험을 소규모로 실험실 내에서 수행하였다. 퇴비원료는 우분퇴비시와 동일하게 사용하였으며, 우분 대신 계분 및 돈분을 사용하였다. 퇴비화의 지표는 온도상승 효과, 미생물상의 변화를 주로 조사하였다. 우분에 비해 2-4주 동안 온도상승 효과가 지속되는 것을 관찰하였으며, 돈분 등에 의한 악취도 대조군에 비해 현저하게 감소하였다. 퇴비화 과정 중 미생물상의 천이를 조사한 결과 돈분퇴비의 경우에는 다수의 방선균이, 그리고 계분퇴비의 경우에는 사상균이 초기부터 나타나기 시작하여 주발효 및 후발효가 끝난 뒤에도 다수 존재하였다. 또한, 우분에 비하여 발효속도가 느려, 주발효는 3-4주에서, 후발효는 6-8주에 일어나 사용된 미생물제제가 이들 돈분 및 계분의 퇴비화에는 뛰어난 효과를 갖지 않는 것으로 판단되었다. 결과적으로 개발된 미생물제제를 사용한 돈분 및 계분의 퇴비화는 초기의 악취저감 효과는 우수하나, 속성퇴비화를 위하여는 미생물의 종류에 대한

연구가 더 수행되어야 할 것으로 사료된다.

2. 사료첨가, 퇴비제조용 미생물제제의 일원화 가능성 및 효용성

미생물제제를 이용한 퇴비생산을 일원화하기 위하여, 사료첨가용 제제에 퇴비제조용 미생물제제의 제조에 사용된 *Bacillus* 균주를 첨가하여 육우에 직접 투여하는 실험을 수행하고 우분의 성분을 조사하였다. 사용된 *Bacillus* 균주는 *B. subtilis*로 이 균주는 미국 FDA에서도 균주 자체를 식품 또는 식품첨가물로 사용할 수 있다고 정의한 균이므로 사료첨가용 제제로의 직접 투여에 위험성이 없다고 판단되었다. 사료첨가용 미생물제제를 이용하여 추가 제제의 투여없이 퇴비생산의 일원화 가능성을 조사하기 위하여는 제제투여한 우분을 채취하여 일반 우분과 비교하여 퇴비화 실험을 함으로써 일원화의 가능성을 확인 할 수 있으나, 우분의 양이 충분치 못하여 퇴비화 실험을 수행할 수 없어 우분내의 미생물상을 추적 조사함으로써 대신하였다.

우분내의 미생물상의 조사는 퇴비제조시 우수한 기능을 나타내는 것으로 조사된 *Bacillus* 균주 및 *Lactobacillus* 균주를 그 존재여부 및 미생물 군집의 수로 확인하였는데, 사용된 *Bacillus* 균주가 고온균이므로 일반 배지에서 배양온도를 높여줌으로써 쉽게 확인할 수 있다. 조사된 우분은 최종 사료첨가제가 투여된 지 64일, 90일 120일의 우분과 대조군의 동일 시기의 우분을 사용하였다 (표 4-10).

<표 4-10> 우분의 지표미생물 탐색

구 분		미생물수 ($\times 10^{8}$/g)		
		64일	90일	120일
실 험 군	*B. subtilis*	12.2	14.8	15.2
	L. acidophilus	12.8	10.5	10.0
대 조 군	*B. subtilis*	2.0	2.2	2.3
	L. acidophilus	2.2	1.7	1.4

결과적으로 대조군에 비하여 제제를 투여한 실험군에서 추적 대상 미생물로 추정되는 미생물의 수가 상대적으로 10배 정도 증가되었으며, 퇴비제조시 우수한 균주로 사료되는 고온의 *B. subtilis*의 경우 투여기간이 길어질수록 실험군에서의 검출량이 증가되는 것으로 보아 실험군의 우분을 퇴비제조에 사용할 경우 퇴비제조용 미생물제제의 투입량을 줄일 수 있을 것

으로 판단되었다. 한편, *E. subtilis*는 균주의 특성상 생장조건이 좋지 않으면, 포자를 형성하여 휴면상태로 존재하므로 퇴비화를 위하여 우분을 채취할 때까지의 방치 기간 동안에도 그 수를 상당수준 그대로 유지할 것으로 사료되므로 최소한 퇴비제조시 미생물제제 투여량의 감소 효과를 가져올 것으로 사료된다.

제 4절 퇴비제조 및 품질평가 기준확립

1. 발효퇴비의 부숙도 및 안정성 평가

가. 퇴비의 부숙도 검정방법 기초조사

미생물 발효에 의해 생성된 유기질 비료 중 후발효기간을 거치지 않고 주발효만 끝난 상태에서 시비했을 경우 온도의 상승 또는 특정성분의 집적 등에 의해 농작물에 큰 피해를 줄 수 있다. 그러나 아직까지 퇴비의 부숙정도를 나타낼 수 있는 기준이 마련되어 있지 않기 때문에 적합치 못한 퇴비의 유통과 이로 인한 농민들의 피해가 큰 실정이다. 따라서 부산물비료(퇴비)에 대한 확실한 개념 정립과 퇴비의 부숙도 검정방법의 기준 설정이 매우 시급한 실정이다.

퇴비화는 적절하게 조절된 호기적 조건에서 미생물에 의한 유기물이 분해되는 과정으로 많은 인자들이 퇴비화과정에 영향을 미친다. 그 중 미생물에 의한 유기물의 분해에 영향을 미치는 주요 인자들은 산소와 수분이고 다른 중요한 인자는 양분과 pH이다. 특히 탄소와 질소는 미생물의 성장과 활동에 필수적이기 때문에 매우 중요한 역할을 한다. 탄소는 근본적으로 에너지원이며 질소는 세포합성에 필요한 영양원이다. 또한 미생물은 식물과 같이 미량원소를 필요로 한다.

전통적으로 내려오는 부숙도 검정방법들에는 퇴비 특유의 냄새를 이용한 후각법, 원재료의 질감을 이용한 촉감법, 퇴비의 색을 이용한 색별법 등의 감각적인 방법과 온도조사법, 유기물이 분해됨에따라 생성되는 암모니아를 이용하는 초산태 질소법, pH 측정법, 초기의 탄소원 재료와 질소원 재료의 성분비를 이용한 C/N ratio 측정법, 수용성 염류의 지표가 되는 전기전도도를 이용한 방법, 퇴비화가 진행되면서 시료내에 부식물질이 생성되는 원리를 이용하는 원형여지 크로마토그라피법, 염기치환용량법 등의 화학적인 분석 방법이 있다. 또한 지렁이의 생리를 이용한 지렁이법, 미숙퇴비에 쉽게 영향받는 식물의 생육 관찰, 발아 시험법 등의 생물 판정법과

수분함량 측정법, 토양입자의 크기를 이용한 방법, 지표미생물을 이용한 방법, 분해 유기물 (당분)의 정도, 호흡율 측정법, 생체량 측정법 등이 있다.

퇴비화 초기의 함수율 조건은 55 65% 정도 유지하는 것이 좋고 (Wilson, 1978), 흡수성이 우수한 생물질은 일반적으로 그 이상 함수율을 유지하여도 무리가 없는 것으로 알려져 있다.

Jeris 등(1973)은 최고의 고온성 퇴비화는 pH 7.5 8.5범위에서 일어나고, Inbar 등(1993)은 퇴비화의 적정 pH는 5.5 8.0이라고 하였다. pH는 퇴비화 초기에 감소하였다가 증가한 후 중성부근에 안정화되는데 이 시기를 퇴비의 부숙이 완료되었다고 판정하고 있다. 그러나 원료의 종류에 따라 자체의 pH가 서로 차이를 보일 수 있기 때문에 pH의 변화로 부숙도를 평가하는데는 신중할 필요가 있다. C/N율의 경우에는 최적조건이 25 35이며 만약 이 범위보다 C/N율이 너무 낮으면 알카리 상태에서 부분적으로 암모니아 형태로 질소의 휘산이 일어난다(Mathews 등, 1990). 반면 50 이상을 초과할 경우에는 빠른 세포성장을 위해 이용할 수 있는 질소의 부족으로 세포의 성장이 감소되기 때문에 퇴비화가 늦어진다.

퇴비화는 여러 가지 방법에 의해 실시된다. 그 중 현재 많이 이용되고 있는 강제송풍에 의한 정체식과 정기적인 뒤집기에 의한 교반식 등이 있다. 퇴비화과정을 거친 퇴비들은 현재 물리적, 화학적, 생물학적 및 미생물학적인 방법 등으로 부숙도를 평가하고 있다.

미부숙된 퇴비가 토양중에 시용되었을 때 여러가지 문제들이 발생될 수 있다. 적은양의 암모니아 생성만으로도 작물의 뿌리생육에 독성을 나타낼 뿐만아니라 산소농도와 토양 Eh감소로 근권층에 혐기적인 조건이 형성된다 (Jimenez 등, 1991). 혐기적인 환경에서는 ethylene oxide(Wong, 1983)와 유기산(aetic, propionic, n-butyric acids)과 같은 식물독성물질이 생성되어 종자발아에 문제를 일으킨다(Harada 등, 1980). 그리고 미부숙된 물질은 대부분 C/N율이 높기 때문에 토양에서 분해될 때 토양의 질소를 흡수하게 되어 작물이 필요한 질소의 기아현상 등을 초래하기도 한다.

이러한 문제들을 방지하기 위해서는 여러 가지 방법에 의해 퇴비의 부숙도를 정확하게 평가하여 토양과 작물에 발생되는 문제를 방지하는 것이 필수 요건이다.

퇴비 부숙도 평가에 관한 연구를 살펴보면 1979년 Sugahara 등은 부숙

이 완료된 퇴비의 색깔은 진한 갈색이며 색도의 Y값은 11 13을 나타낸다고 하였다. Poincelot 등(1974)은 최종 퇴비의 C/N율이 20 이하일 경우, Chanyasak 등(1981)은 퇴비의 물추출액의 C/N율이 5 6일 때 부숙이 완료되었다고 평가하였다. Harada 등(1981)은 양이온치환능력(CEC)이 퇴비의 부숙도에 적용이 가능하다고 하였으며, 퇴비화과정중 양이온치환능력이 60 cmol/kg 이상일 때 부숙이 완료되었다고 하였다.

Zucconi 등(1981)은 생물학적인 방법에서 유식물의 발아율을 통해 발아지수(Germination index; G.I.)를 얻어 그 값이 50일 경우 작물에 해가 없을 것이며 80 이상일 경우 부숙이 완료되었다고 보고하였다. Inoke 등(1979)은 원형여지 크로마토그라피 방법으로 중앙부분은 어둡거나 붉은 자주빛을 띠며 변화되는 부분은 불규칙하고 테두리는 톱날모양을 나타내는 것을 완숙의 조건이라고 하였다.

본 연구에서는 이러한 기존의 수많은 방법들과 함께 간단하고 손쉽게 퇴비의 부숙 정도를 검정할 수 있는 새로운 파라미터를 모색하고 이들의 보편성과 적합성을 제고하기 위하여 우분이외에도 돈분 및 계분의 자연발효와 미생물제제 첨가에 의한 발효를 조사 대상에 포함시켰다. 우선, 수분함량 조사, 미생물들에 의한 유기물의 분해로 인한 온도 변화 조사, 분뇨의 분해로 인한 pH 변화 조사, 부식 물질을 이용한 원형여지 크로마토그라피법에 의한 부식화 조사, 질소원 재료에 대한 탄소원 재료의 성분비를 이용해서 퇴비화 됨에 따라 변화하는 C/N ratio 조사와 함께 미생물 발효과정 중에 서로 다른 생리적 기능을 갖는 미생물의 동적 변화를 조사하였다.

또한 각각의 시기에 따른 곰팡이, 세균, 방선균들의 수의 변화 조사, 온도에 따른 중온균·고온균의 수의 변화 조사, 축분내의 유기물 성분 (섬유질, 목질, 단백질, 지방질, 녹말, 펙틴, 리그닌, 요소)을 단일 탄소원으로 주었을 때 분해할 수 있는 미생물 군집의 변화 조사, 시료내의 미생물들에 의해 분비되는 토양 효소들 중 토양의 비옥도 측정에 이용되는 탈수소효소(dehydrogenase), 인산 분해효소(phosphatase), 요소 분해효소(urease)와 섬유질 분해효소(cellulase), 그리고 목질 분해효소(xylanase), 녹말 분해효소(amylase), 펙틴 분해효소(pectinase), 단백질 분해효소(protease), 리그닌 분해효소(ligninase)와 같은 9 가지 종류의 토양효소 (abiontic soil enzymes)들의 활성도를 측정하여서 토양의 비옥도는 물론 기존의 부숙도 측정방법들과의 상관 관계를 조사하였다.

기존의 부숙도 측정방법과 병행하여 생물학적인 결과들을 분석해 볼 때

온도, pH, 수분함량과 토양효소 활성도간에는 정 또는 부의 상관관계가 있고 화학적인 요소들과 토양효소의 활성도간에 또한 상관관계가 있는 것으로 생각된다. 이 실험을 통해서 만들어진 퇴비의 화학적인 분석을 통해서 일본의 퇴비공업협회에서 정한 기준에 대부분의 화학적 분석결과가 같거나 근접한 것으로 나타났고, 또한 퇴비의 실험을 통해서 선발한 균주를 처리한 D시료가 다른 실험구들에 비해 보다 높게 일치하였다.

나. 발효퇴비의 부숙도 및 안정성 평가

퇴비화 실험은 생산된 퇴비를 pH, C/N Ratio, 색도, 원형여지크로마토래피의 파라미터를 부숙도 판정 항목으로 선정하여 실험하였으며, 안정성 항목으로 식물독성 실험을 수행하였다. 이번 퇴비화 실험은 ① C/N율 조절 ⑤ 경제성을 고려한 톱밥사용의 최소화의 두 가지 관점에서 톱밥과 우분의 양을 8:2(Flesh weight로 계산한 것임)로 조절하여 실험하였다. 색도와 원형여지 크로마토그래피도 실험하였으며, 결과는 표 4-10과 같다.

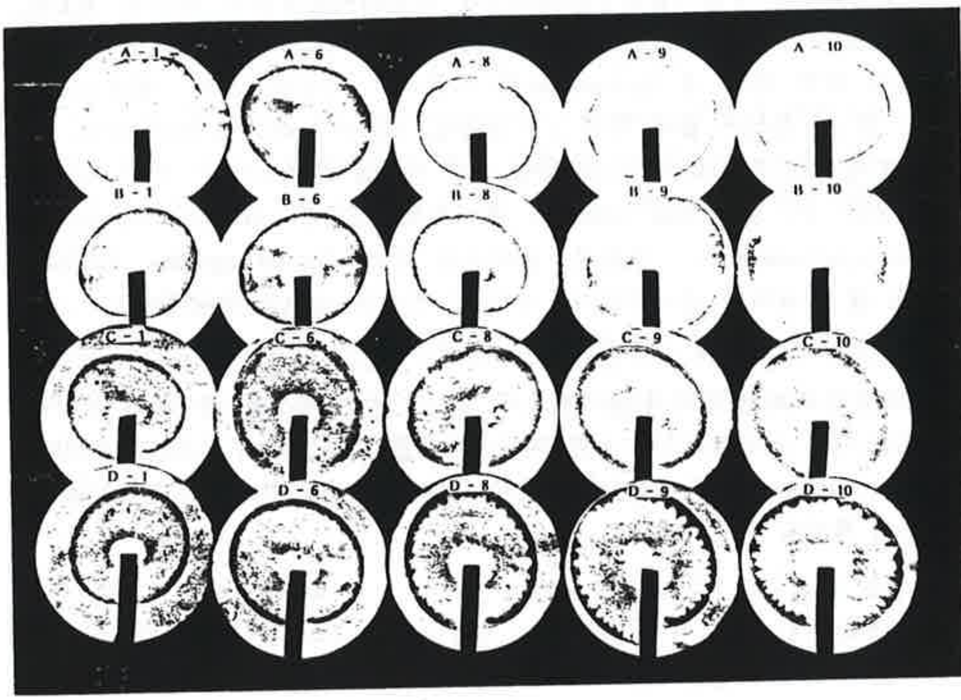
<표 4-10> 퇴비화 과정중 이화학성 변화

처리구	퇴비화 일수	pH	T-C (%)	T-N (%)	C 변화율 (%)	C/N Ratio	최종/초기 C/N율	색 도 (Y 값)
A	0	8.10	48.6	1.83	13.2	26.6	0.76	21.3
	3	7.84	48.6	1.87		25.9		20.9
	9	7.74	48.4	1.88		25.8		20.2
	18	8.10	48.3	1.90		25.4		20.0
	28	7.94	46.5	1.92		24.2		19.8
	42	7.08	44.4	1.93		22.9		19.1
	49	7.48	42.2	2.07		20.3		18.9
B	0	5.71	44.2	1.74	14.7	25.4	0.72	25.6
	3	7.66	43.0	1.85		23.2		23.6
	9	7.71	42.7	1.92		22.2		23.2
	18	8.08	42.0	2.02		20.8		20.5
	28	8.06	42.5	2.04		20.4		20.4
	42	7.29	38.4	2.05		18.8		19.8
	49	7.81	37.7	2.06		18.3		19.0
C	0	7.10	47.8	1.86	17.4	25.5	0.70	24.5
	3	7.47	46.9	1.89		24.8		22.8
	9	7.83	45.6	1.94		23.5		21.6
	18	7.89	45.1	1.95		23.1		20.4
	28	7.95	43.9	1.95		22.5		19.7
	42	7.11	40.3	2.01		20.0		18.6
	49	7.71	39.5	2.20		18.0		18.2
D	0	7.99	47.6	1.71	19.6	27.8	0.59	25.6
	3	7.33	46.7	1.86		25.1		24.4
	9	7.78	44.9	2.10		21.4		23.3
	18	7.89	44.9	2.07		21.6		21.2
	28	8.02	43.7	2.08		21.0		20.5
	42	7.25	40.1	2.14		18.7		19.6
	49	7.83	38.3	2.34		16.4		17.6

초기 C/N율 값은 25.4-27.8로 적당한 배합비로 판정되었으며, 외관상으로 보여지는 물리성도 상당히 양호한 것으로 판단되었다. 온도변화는 9일째부터 온도가 상승하기 시작했으며 25일째까지 약 14일간 55-60 ℃의 고온기를 이루었다. 그러나 대조구에서는 다른 3처리구에 비해 약 8-10 ℃ 정도 차이를 나타냈으며, 45-52 ℃의 온도분포를 이루었다.

이것으로 보아 미생물제제 처리구에서 미생물 첨가의 효과가 인정된다. 약 35일 후에 온도가 하락하면서 일정한 온도를 이루었다. 그러나 퇴비화 전과정동안 일정한 온도를 유지하지 못한 것은 1회/3일의 잦은 뒤집기로 인한 퇴비화 환경을 저해했을 것으로 판단된다. 퇴비화가 끝난 후의 탄소

전과정동안 일정한 온도를 유지하지 못한 것은 1회/3일의 잦은 뒤집기로 인한 퇴비화 환경을 저해했을 것으로 판단된다. 퇴비화가 끝난 후의 탄소 함량은 38-42 %수준이었으며, 질소는 2.0-2.3 수준으로 안정화를 이루었다. C/N율은 20-16으로 D>C=B=A 순으로 감소하였다. 색도는 19-18수준으로 Sugahara 등이 제시한 10-13 범위에는 미치지 못하는 수치였다. 이런 결과들은 3차실험의 반복 결과와 비교함으로써 수치화가 가능할 것으로 판단되며, 원형여지 크로마토그래피 실험결과로 미숙과 중숙의 단계를 어느 정도 판단 가능하였다 (사진 2).



〈사진2〉 원형여지 크로마토그래피 실험결과

유기물의 분해는 높은 분해값을 보였지만 완만한 분해속도를 보였으며 그에 따른 실험독성 실험결과 전 처리구에서 80이상의 높은 수치를 보였다. 또한 탄소의 분해율은 20 % 이상의 값을 보이는 것이 옳을 것으로 판단된다.

1) 토양내 무기 양분의 이동 특성 구명

가) 재료 및 방법

연구대상 토양은 논을 개답하여 시설재배지로 사용하고 있는 충남 공주시 우송면에 있는 오이를 재배하는 시설재배지 토양을 선택하여 비닐하우스 1동에서 처리구별로 3개소를 선정하여 매 10 ㎝ 깊이별로 60 ㎝ 깊이까지 시료를 채취하였다. 이때 용적비중 (Bulk density) 조사를 위한 비교란 시료와 물리화학성 조사를 위한 교란시료를 동시에 채취하였다. 각 깊이별로 채취한 토양은 풍건 후 2 ㎜ 사분하여 분석 및 실험에 이용하였다.

토양분석은 농업기술연구소(1988)의 토양화학분석법에 준하여 실험을 실시하였다. 이때 토성 (Soil texture) 분석은 Sodium hexametaphosphate 용액에 의한 분산 후 Hydrometer를 이용하여 측정하였으며, 전기전도도 (EC) 및 pH 분석은 물에 의한 1:5 용출법, CEC는 Ammonium acetate법, 유기물함량 (OM)은 Wakley black법에 의해 각각을 분석하였다. 기타 치환성 양이온은 1N Ammonium acetate 용액으로 침출후 Atomic Absorption Spectrophotometer로, 수용성 음이온은 Ion Chromatography (Dionex 2000I)를 이용하여 분석하였다. 이때 IC 칼럼은 AS4A를 이용하였다. 그리고 공극률 (%) 측정은 {(1-진비중ρ_I/용적비중ρ_t)×100}식을 이용하였다.

토양에 처리된 퇴비의 유기탄소와 질소의 전환 특성을 조사하기 위하여 시료중 가장 전질소함량이 높은 퇴비시료 B를 선택하여 수분조건을 달리하여 Incubation Test를 실시하여 실제 토양내 처리된 퇴비중의 탄소 및 질소분해 특성을 조사하였다.

건조 퇴비시료 B를 표층토양에 0, 2, 4, 6 % (wt/wt) 비율로 혼합 후, 토양-퇴비혼합시료 (이하 혼합시료) 500 g을 1 ℓ의 흰색의 플라스틱병에 취하였다. 수분조절은 혼합시료 무게를 기준의 20, 30, 40, 50 %의 비율로 증류수를 가하여 균일하게 혼합하였다. 한편 호기 상태를 유지하기 위하여 펌프를 이용하여 시료병 바닥면으로부터 시간당 0.25 리터의 속도로 공기를 주입하였고 이때 온도는 7월말에서 11월초까지의 실온에서 실시하였다. 이와 같은 조건하에서 매 1주일마다 시료를 채취하여 혼합시료내 전 질소와 NO_3^--N의 함량 변화, 전 탄소 및 C/N율 변화를 조사하였다. 이때 시료를 채취할 때마다 시료와 용기의 무게를 측정하여 증발된 수분량을 보충한 후 시료를 다시 균일하게 혼합하였다.

퇴비처리에 따른 토양내 투수특성변화, 그리고 퇴비로부터 음이온의 용출특성 조사를 위해 Column실험을 다음과 같은 조건으로 실시하였다.

(1) 투수계수 (Saturated Hydraulic Conductivity) 특성변화 조사

(가) 토양 칼럼 제작

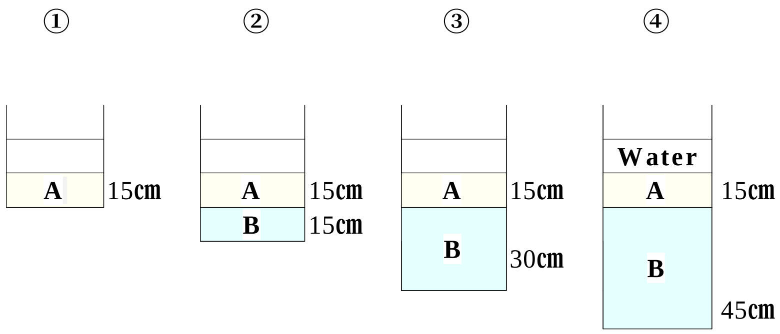
○ 표층 (Ap) 토양의 토양칼럼: 2 ㎜체를 통과한 표층 건조토양에 퇴비 B를 건물비로 0, 2, 4, 6 % (wt/wt)를 각각 혼합 처리후 용적밀도 (Bulk density)는 1.3 g/㎤으로 15 ㎝ 깊이까지 Acryl Column (5 ㎝ ID × 25㎝ L)에 충진하여, 재배지 조건과 유사하게 만들었다.

○ 심층토 (B) 토양칼럼: 동일지역의 심충토(B)의 2 ㎜ 사분 토양을 15, 30, 45 ㎝ 깊이로 동일 내경 15, 30, 45 ㎝ 길이 column에 각각 충진하였으며, 이때 용적밀도는 1.3 g/㎤으로 조정하였다.

○ 다층 토양칼럼 (Multi-layered soil column): 그림 4-27에서와 같이 각 비율로 퇴비 C가 처리된 (가)의 표층 column에 (나)의 15, 30, 45 ㎝의 심층 column을 각각 서로 연결하여 30, 45, 60 ㎝의 다층토양컬럼을 제작하였다.

(나) 투수계수 측정

각 처리별로 충진된 column을 48시간 증류수를 이용하여 상향 포화시킨 후 침투 특성 변화를 측정하였으며, Darcy's law에 의한 포화투수계수를 계산하였다. 이때 투수계수 측정은 일정수두법 (Constant head method)을 이용하였으며, 수두는 토양표면에서 약 10㎝ 높이를 유지하였다.



<그림 4-27> 투수계수 측정을 위해 사용된 토양 컬럼의 개요도 (A:표층,

B:심층). (① : 단일컬럼, ② ③ : 다중컬럼)

(2) 주요 무기 음이온의 용출특성변화 조사

퇴비C 처리별 주요 음이온 (Cl^-, NO_3^-, PO_4^{3-})의 토양내 이동특성을 예측하기 위해 위의 각 column조건에서 용출수내 음이온의 용출특성을 조사하였다.

재배지에서 T-N과 질산태질소의 변화를 조사하기 위하여서는 각각의 처리구별로 재배직전, 재배후 54일, 86일, 그리고 101일째 표층 20 ㎝깊이에서 토양시료를 토양시료채취기로 채취한 후 토양내 전 질소 (T-N)과 질산태질소 (NO_3-N)의 함량변화를 조사하였다. 전 질소는 Kjeldahl의 방법으로 토양내 전체의 유기물에 대하여 그리고 질산태질소는 증류수에 녹아 나오는 수용성 상태의 질산태 질소를 Ion Chromatography로 조사하였다.

나) 결과 및 고찰

(1) 대상지역 토양의 특성 조사

(가) 토양구조 특성

조사지역 토양의 물리적 특성을 조사한 결과 아래 표 4-11과 같은 결과를 얻었다.

<표 4-11> 공주 우성지역 비닐하우스 토양의 단면과 물리적 성질

Profile	Depth (㎝)	Particle Distribution (%)			Texture	BD* (g/㎤)	Porosity (%)
		Clay	Silt	Sand			
Surface Horizon	0 10	19.4	58.2	22.4	SiL	1.22	53.2
	11 20	17.5	58.5	24.0	"	1.49	42.7
Subsurface Horizon	21 30	17.3	60.8	21.9	"	1.52	41.5
	31 40	17.4	56.4	26.3	"	1.49	42.8
	41 50	17.2	55.1	27.7	"	1.44	44.5
	51 60	17.5	52.3	29.9	"	1.42	46.4

* BD : Bulk density

토양 단면 특성을 조사한 결과 약 15 ㎝ 깊이 까지 표층이 형성되어 있었으며, 약 20 ㎝ 깊이 이하부터 심층토가 형성되었다. 그리고 깊이별 토

성을 미농무성법 (USDA법)에 의해 분석한 결과 두층은 모두 미사질 양토 (Silt Loam)로 분류되었다. 지표면 10 ㎝내의 점토 함량은 그 이하의 층에 비해 약 2 % 높았다.

표층토 10 ㎝ 깊이 이내의 용적비중은 평균 1.1 - 1.22 g/㎤로 일반 농경지의 표층토와 비슷한 수준을 보였다. 지표면 아래 약 15 ㎝ 이하부터 용적비중이 크게 증가하기 시작하여, 11 20㎝ 구간에서 1.49 g/㎤, 21 30 ㎝에서 1.52 g/㎤로 최대의 값을 보였다. 이 이후 30 ㎝깊이 이하부터 용적비중은 작은 폭으로 감소하여 50 60 ㎝ 깊이에서는 1.42 g/㎤ 까지 감소하였다. 토양의 다져짐은 공극률, 대공극수, 토양의 수분함유도, 수리전도도와 입단형성에 크게 영향을 주며 용적비중이 증가함에 따라 수리전도도는 큰폭으로 감소하고 토양수분함량도 함께 감소하는 특성을 지니고 있다. 다져짐에 따른 용적비중은 토양내 수분이동특성에 영향을 미쳐 이에 따른 토양내 각종 수용성 이온의 이동도 함께 영향을 받는 것으로 보고되었다. 특히 비닐하우스내의 높은 온도와 작물의 밀식에 의한 높은 증발산은 토양내 수분의 역상승을 일으켜 각종 이온이 지표면 가까이로 축적하게 되는 요인이 되기도 한다. 이외에도 작물의 뿌리 신장을 방해하여 작물생육을 저해시키고 (Voorhees 등, 1985; Kayambo 등, 1986; Danfors, 1994; Taylor and Brar, 1991; Unger, 1996), 토양내 호흡이나 질소의 무기화와 같은 생물학적 작용에 매우 민감하게 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다. Jensen 등 (1996)의 연구 결과에 따르면 토양 다져짐은 대기로부터 토양내로 유입되는 공기확산을 감소시켜 반 혐기화 상태에서 CC2 방출량을 지속적으로 감소시킬 뿐만 아니라 탈질화가 크게 증가하는 것으로 보고되었다 (Bakken 등, 1987; Torbert and Wood, 1992).

표 4-12는 본 실험에 사용된 각각의 퇴비내에 포함된 전질소의 함량분석표이다. 표에서 보여주는 바와 같이 전 질소의 함량은 유사한 값을 보이나 시료 B가 상대적으로 다른 3개의 퇴비보다 높은 전 질소를 포함하고 있어 이 퇴비를 토양에 혼합하여 질산태 질소 전환에 대하여 조사하였다.

<표 4-12> 실험에 사용된 4종류 퇴비내 총질소 함량

조사항목	A	B	C	D
T-N(%)	1.74	1.95	1.83	1.91

(나) 시설재배지 토양의 화학적 특성

조사대상 지역의 토양 깊이 변화에 따른 토양의 평균적 화학적 특성은 아래 표 4-13과 같다. 토양 깊이 변화에 따른 pH변화는 표층토 10 ㎝ 이내에서는 평균 pH 6.7로 중성 범위를 유지하고 있었으며, 11 20 ㎝ 토층에서는 약 pH 6, 그 이하의 깊이에서는 평균 pH 4.5정도의 약산성을 보였다.

<표 4-13> 공주 우성지역 비닐하우스 토양의 화학적 성질

깊이 (㎝)	pH (1:5)	EC(1:5) (ds/m)	OM (%)	CEC (cmolc/㎏)	ESP* (%)	Ex. Cations (cmolc/㎏) K	Na	Ca	Mg
0 10	6.9	5.08	5.3	13.3	6.4	1.07	0.95	7.70	5.43
11 20	6.2	3.23	4.4	12.2	5.2	0.46	0.63	6.70	4.92
21 30	4.8	1.63	4.3	13.9	2.7	0.17	0.37	4.71	3.48
31 40	4.7	0.79	4.1	13.0	2.8	0.17	0.37	4.61	3.19
41 50	4.6	0.68	3.5	12.4	3.0	0.16	0.37	4.39	3.21
51 60	4.6	0.63	3.4	10.8	3.0	0.15	0.32	4.41	3.10

* ESP : *Exchangeable Sodium Percentage*

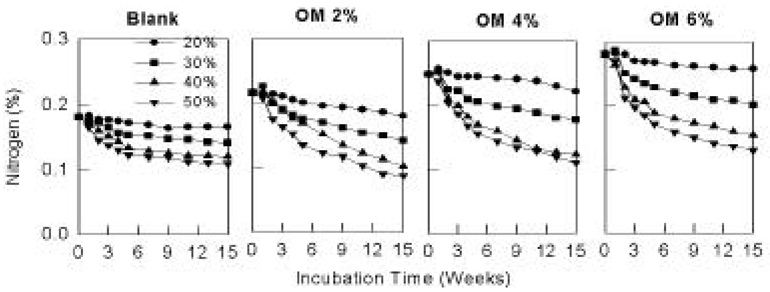
평균 EC값의 분포는 지표 10 ㎝ 이내에서는 평균 5.08 dS/m이었으나 그 이하의 깊이로 진행되면서 EC값은 급격히 감소하여 깊이 30 ㎝이하의 깊이에서는 1이하로 측정되었다. 따라서 표층토 10 ㎝는 염류분류기준으로 볼 때 Saline soil로 분류되며, 과량의 염류가 작물의 생육에 피해를 줄 수 있음을 간접적으로 알 수 있었다. 이와 같이 토양 깊이별 EC값의 차이는, 첫째, 다져짐층 형성에 따른 물의 하향이동이 원할하지 못하였고, 둘째, 외부의 높은 증발산량에 의한 염류의 지표면집적, 셋째, 토양 교질 또는 유기물의 염류흡착에 의한 것으로 추정할 수 있다.

토양내 조사된 치환성 양이온 (Na^{+}, K^{+}, Ca^{2+}, Mg^{2+})은 공통적으로 지표 10 ㎝ 이내에 가장 높게 분포되어 있으며, 깊이가 깊어짐에 따라 그 양은 크게 감소하여, 다져짐층 (Compacted layer)이 형성된 20 ㎝ 이하의 층에서 각 이온의 농도는 거의 일정하게 매우 낮은 농도로 분포되었다.

(2) Incubation Test를 통한 질소 및 탄소의 전환특성

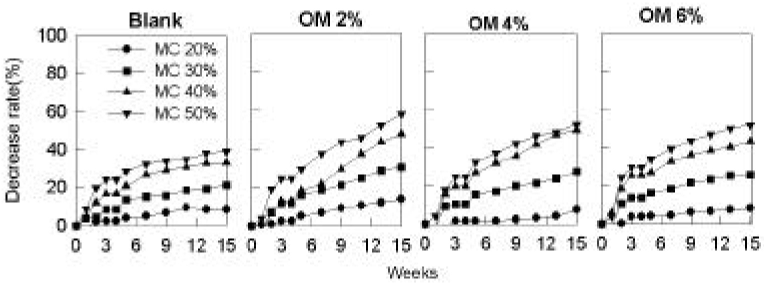
축분에 존재하는 질소의 대부분은 유기태이며, 퇴비화 과정을 통해 NH_4^+-N와 NO_3^--N 형태로 무기화되고, 일부는 퇴비화 과정중이나 토양내에서 미생물작용에 의해 NH_3나 N_2O로 전환되어 대기중으로 휘산되어 손실된다. 이러한 유기태 질소의 무기화는 C/N율, 수분, pH, 온도 등의 조건에 따라 좌우된다 (Bartholomew, 1965; Launa, 1977; Mayer 등, 1969).

일반적으로 혐기상태에서는 유기태 질소는 미생물에 의해 비교적 쉽게 NH_4^+-N 형태로 전환되고, 다시 NO_3^--N로 질산화된다. 이때 중간 생성물인 NO_2^--N는 구조적으로 매우 불안정하여 쉽게 NO_3^--N로 전환된다 (Bremner, 1965). 그러나 혐기상태에서는 유기물 분해가 비교적 느리게 NH_4^+-N 형태로 무기화되고, 상당량이 NH_3로 대기중으로 휘산되어 NO_3^--N의 축적이 호기상태에 비해 적은 것으로 알려져 있다. 따라서 본 실험에서는 사용된 퇴비중 전질소함량이 가장 큰 퇴비B를 이용하여 수분조건별 전질소 함량의 변화와 전질소의 감소율을 조사하여 그림 4-28과 4-29의 결과를 얻었다.



<그림 4-28> 우분퇴비의 처리량과 수분 함량에 따른 incubation동안 토양내 총질소의 변화

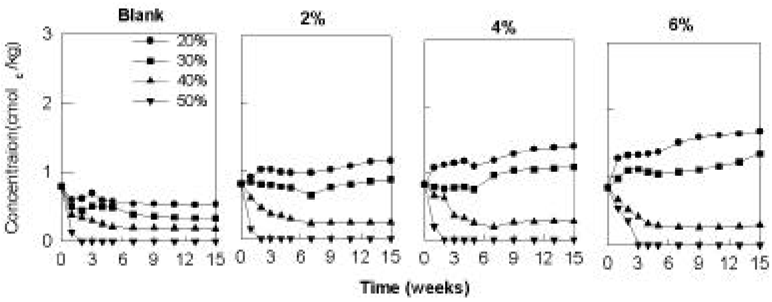
수분이 무게비로 20 % 처리된 유기물 무처리구와 유기물이 2, 4, 6 % 처리된 시료에서 조사기간동안 전질소 함량의 감소는 각각 약 29 %, 17 %, 11 %, 8 %로 유기물의 함량이 증가됨에 따라 전질소의 손실은 감소하는 경향을 보였다. 그리고 30 % 수분조건에서는 무처리구 약 38 %, 그리고 유기물 2, 4, 6 % 처리구에서는 각각 34 %, 28 %, 28 %의 전질소가 감소하였



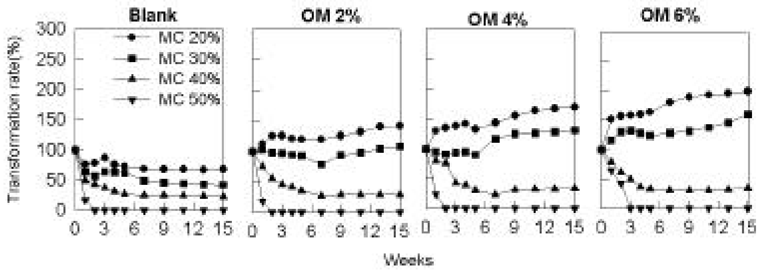
<그림 4-29> 우분퇴비의 처리량과 수분 함량에 따른 incubation동안 토양 내 총질소의 감소율

다. 이는 20 %의 수분조건과 비교시 2배 이상 3배까지의 전질소 손실의 증가로 나타났다. 또한 40 % 이상의 수분조건에서 전질소 손실률은 더 증가되어, 40 %와 50 %의 수분조건에서 6 % 유기물 처리구의 경우 전질소 감소율은 각각 약 45 %와 54 %까지 크게 증가하였다. 이러한 결과로 미루어 토양내 가해진 유기태질소의 감소율은 수분함량과 유기물함량이 증가될수록 전질소의 감소도 증가시키는 요인으로 조사되었다. 이는 수분함량 증가에 따른 토양내 산소의 유입이 감소되어 토양이 반혐기 또는 혐기조건으로 변하여 암모니아태로의 휘산이 증대되어 이로 인한 전질소감소가 증가되는 것으로 추정한다.

조사 기간 동안 수분조건에 따른 질산태 질소의 함량 변화와 질산태질소 전환율은 그림 4-30 및 4-31과 같다. 여름철 실온, 즉 28℃ 정도에서 실험을 실시한 결과, Nitrate 함량은 20 % 수분조건의 무처리구에서 최초 0.80 cmolc/kg에서 1주후 약 0.60 cmolc/kg까지 감소를 보였으며, 3주째 약간의 증가를 보이다 다시 서서히 감소를 보여 15주째 0.54 cmolc/kg 수준까지 낮아짐을 보였다. 이에 반해 퇴비 B의 2 % 처리구에서는 Incubation과 함께 NO_3^--N는 최초 0.81 cmolc/kg에서 3주에는 1.02 cmolc/kg으로 약 26 %까지 증가되었으며, 15주째는 1.15 cmolc/kg으로 최초에 비해 약 42 %로 증가되었다. 퇴비 B는 4 %와 6 % 처리구에서도 2 %처리구와 비슷한 경향을 보였으며, 15주째는 최초에 비해 각각 약 70 %, 98 %의 질산태 질소로의 전환이 크게 증가되었다.



<그림 4-30> **우분퇴비의 처리량과 수분 함량에 따른** incubation**동안 토양 내 질산태 질소의 변화**



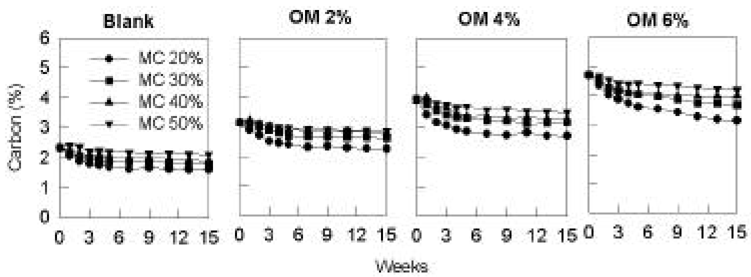
<그림 4-31> **우분퇴비의 처리량과 수분 함량에 따른** incubation**동안 토양 내 질산태 질소의 전환율**

30% 수분조건의 무처리구에서 NO_3^--N는 초기 2주사이에는 비교적 크게 감소하였으며, 그후 지속적으로 감소되어 15주째 0.33 cmolc/kg으로 최초에 비해 약 42 %의 수준까지 감소하였다. 2%와 4% 처리구에서는 초기 약 6주까지는 일정한 값을 보였으며, 다시 7주 이후 서서히 증가하여 15주째 각각 약 0.88과 1.09 cmolc/kg로 최초에 비해 약 8%와 31%의 증가를 보였다. 6% 처리구에서는 초기부터 증가하기 시작하여 15주째 약 1.35 cmolc/kg으로 초기값에 비해 약 60% 수준으로 질산태질소가 증가하였다.

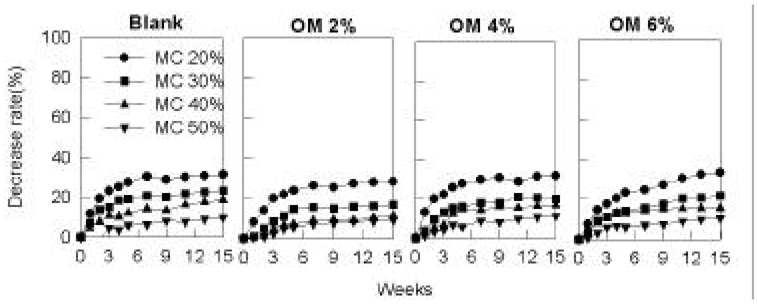
그리고 40% 수분처리에서는 질산태 질소는 초기 1 2주 사이에 크게 감소되어 약 3주후 이후에는 거의 일정한 값을 보였다. 무처리구와 2 %, 4 %, 6 % 처리구의 15주째 질산태 질소는 각각 약 0.18, 0.24, 0.28, 0.29 cmolc/kg으로, 이는 초기값의 약 23 %, 30 %, 33 %, 34 %에 각각 해당하는 수준이었다. 그러나 50 % 수분처리에서 질산태 질소로의 전환은 약 2주후부터 나타나지 않았다.

이와 같이 토양내 가해진 유기태 질소의 질산태 질소로의 전환은 토양내 수분함량과 이에 따른 공기 공급율에 따라 결정된다고 판단된다. 여기에 통기 조건이 크게 관여하며, 특히 40% 이상의 수분함량 조건에서는 확산(Diffusion)에 의한 공기공급이 원활치 못했음을 알 수 있었다. 특히 50 %의 수분조건에서의 전질소 감소율과 질산태 질소의 전환율의 감소는 탈질 작용이 주요 요인인 것으로 판단되었다.

토양내 처리된 유기물중 유기탄소는 주로 토양 미생물의 에너지원으로 이용될 뿐 아니라, 토양의 물리성 유지 및 향상에 크게 관여한다. 토양내 유기물은 토양수분, 온도 조건과 C/N율 등의 주요 요인들에 의해 그 분해 정도가 크게 좌우된다. 각각의 수분조건에서 토양내 전탄소 함량과 탄소 감소율 변화는 그림 4-32 및 4-33과 같다.



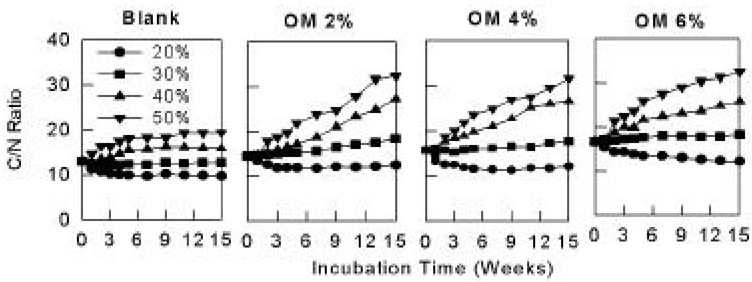
<그림 4-32> 우분퇴비의 처리량과 수분 함량에 따른 incubation동안 토양내 총 탄소의 변화



<그림 4-33> 우분퇴비의 처리량과 수분함량에 따른 incubation동안 토양내 총 탄소의 감소율

전탄소 함량은 20 % 수분조건의 무처리구에서 최초 2.3 % 수준에서 시간이 지남에 따라 서서히 감소하여 15주 후에는 1.6 %까지 감소하여 초기처리량에 비해 약 31 %가 감소되었다. 30 % 수분조건에서는 15주째 전탄소 감소율은 초기 처리량에 비교하여 0, 2, 4, 6 % 처리구에서 각각 23, 17, 20, 21 %로 20 % 수분조건에 비해 감소율이 적었다. 40 %와 50 %의 높은 수분함량 조건에서 전탄소 감소율은 0 %에서 각각 19 %와 10 % 정도, 그리고 2 %, 4 %와 6 % 처리구에서 감소율은 9 - 15 % 수준으로서 전탄소의 감소는 토양수분 함량이 증가할수록 감소하는 경향을 나타냄을 알 수 있었다.

전질소와 탄소의 함량 변화에 따른 토양내 C/N율의 변화는 그림 4-34와 같다. 전체 퇴비처리 중 20 % 수분조건에서 C/N율 변화의 정도가 가장 적었다. 그러나 40 % 이상의 수분조건에서 C/N율은 시간이 지남에 따라 증가하였으며, 특히 퇴비처리에서 그 증가폭이 크게 증대되었다. 이는 질산태 질소 전환의 증가뿐만 아니라 유기탄소의 분해정도가 C/N율에 크게 영향을 미침을 알 수 있다.



<그림 4-34> 우분퇴비의 처리량과 수분 함량에 따른 incubation동안 토양내 C/N율의 변화

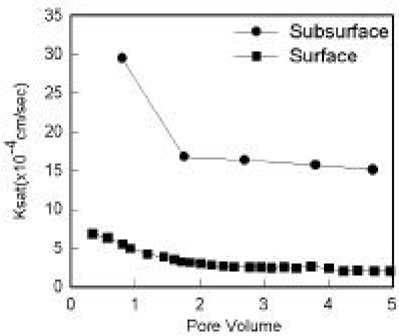
이상의 결과를 종합하면, 토양내 유기물 시용시 지력 유지 측면에서 토양내 수분조건은 대단히 중요하며, 중량비 40 % 이상의 수분조건에서는 전질소 손실에 따른 가용성의 질산태 질소의 양이 감소하므로 적정한 공기공급과 수분유지로 질산태 질소로의 전환을 증가시켜야 될 것으로 판단된다.

(3) 퇴비처리에 따른 투수특성변화

과량의 축산퇴비가 토양내 시용됨에 따라 식물영양원의 공급, 양분보유력 증대와 같은 토양의 화학성 개선과, 보수력 및 통기성 개선 등과 같은 토양의 물리성 개선의 효과가 있다. 일반적으로 토양내 용존 물질의 이동특성은 토양수의 이동 속도, 토양교질과의 흡착력, 토양의 구조 등의 요인에 의해 결정된다. 특히 Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-}와 같은 음이온은 토양교질과 비특이적 반응 (Non specific reaction)을 하며 결합력이 매우 약해서 토양내에서의 이동은 토양수의 이동과 거의 같은 속도로 이동하게 된다 (Bohn et al., 1979). 따라서 퇴비처리에 따른 투수 특성 변화를 조사함으로써 물질의 토양 이동속도를 예측하고자 하였다.

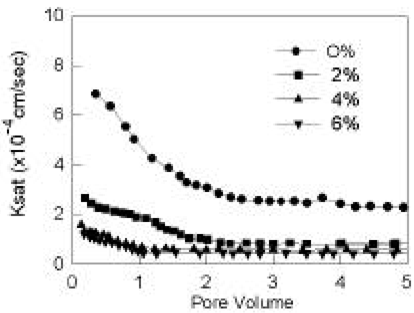
토양내 투수계수는 토양의 기포 (Air pocket) (Bouwer, 1961; Christiansen, 1944), 미생물의 활동 (Allison, 1947), 토양수내 용존물질의 종류와 농도 (McNeal and Cokman, 1966; Pupisky and Shainberg, 1979), 토양의 팽창 (Lagerwerff 등, 1969)과 배열형태, 토양의 공극 분포 (박무언 등, 1981), 토성, 토양의 물리적 구조 (김필주, 1997b) 등과 같은 요인들에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다.

퇴비를 처리하지 않은 표층토와 심층토의 포화 투수계수를 측정한 결과는 그림 4-35와 같다. 표층토의 초기 포화 투수계수는 6.8×10^{-4} ㎝/sec 이었으며, 약 2 Pore volume 이후에 안정된 투수계수 3×10^{-4} ㎝/sec을 얻었다. 심층토의 초기 포화 투수계수는 2.9×10^{-3} ㎝/sec 이었으며, 약 1.7 Pore volume 이후 안정된 1.6×10^{-3} ㎝/sec의 투수계수를 보였다.



<그림 4-35> 표층토와 심층토를 충진한 토양칼럼에서 포화투수계수의 변화

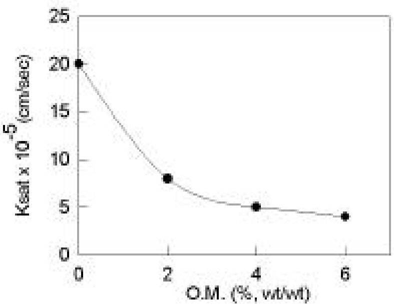
이와 같이 용출량 변화에 따른 투수계수의 큰 변화는 불안정한 토양구조로 인해 발달된 공극이 토양수의 흐름에 의해 토양입자의 수직 이동과 조직내 재배열에 의해 구조가 안정되기 때문인 것으로 판단된다. 심층토의 투수계수는 표층토의 투수계수에 비해 약 6 5배의 높은 값을 보였으며, 이는 표층토내의 높은 유기물함량이 수분보유력 (Water Holding Capacity) 증가에 영향을 준 것으로 판단된다 (Chang 등. 1987; Gal 등, 1984; Frenkel 등, 1978; McNeal, 1968; Quirk and Schofield, 1955). 표층토양에 퇴비 B를 0, 2, 4, 6 % (wt/wt) 비율로 혼합 처리 후 포화투수계수 (Ksat) 변화를 조사한 결과 그림 4-36과 같은 결과를 얻었다.



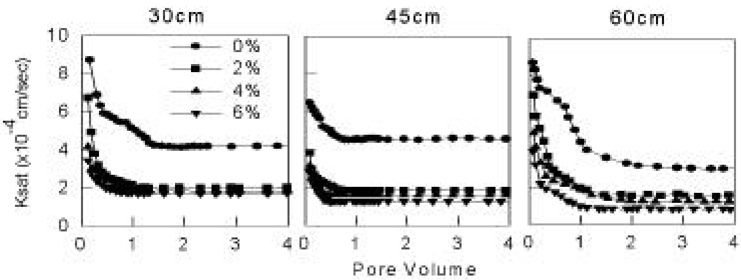
<그림 4-36> 우분퇴비의 처리량에 따른 표층토내 포화투수계수

퇴비 B를 2 % 처리시 초기 투수계수 (Ksat)는 2.7×10-4 ㎝/sec 이었으며, 약 1.7 Pore volume 이후 약 0.8×10-4 ㎝/sec의 안정된 투수계수를 보였다. 이는 무처리구에 비해 1/2 이상 감소된 값이며, 유기물에 의한 수분보유능 증대에 의해 기인된 것으로 해석된다 (Gupta 등, 1977). 처리량이 증가된 4 %와 6 %의 경우 약 1 Pore volume 이후 안정된 투수계수, 각각 5×10-5 ㎝/sec와 4×10-5 ㎝/sec의 낮은 투수계수를 보였다. 그림 4-37에서 보는 바와 같이 최종 안정된 투수계수 값을 서로 비교한 결과 처리시 무처리구에 비해 큰 폭으로 감소함을 볼 수 있었으며, 2 % 이상 처리시 처리량의 증가에 따른 투수계수 감소폭은 비교적 작았다. 0, 2, 4, 6 %로 처리된 15 ㎝의 표층토양 칼럼에 15 ㎝, 30 ㎝, 45 ㎝의 심층토양칼럼을 연결하여 30 ㎝, 45 ㎝, 60 ㎝의 다층토양칼럼을 제작하여, 유기물 처리량에 따른 투수계수 변화와, 토양깊이 변화에 따른 투수계수를 각각 측정하여

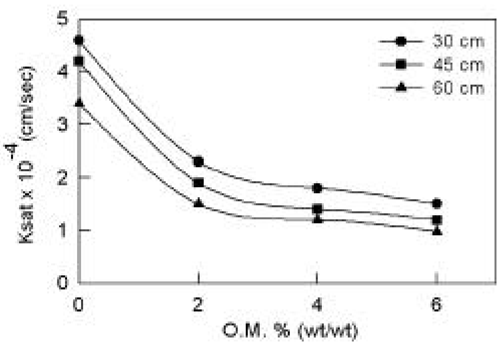
그림 4-38과 4-39와 같은 결과를 얻었다.



<그림 4-37> 우분퇴비의 처리량에 따른 표층토내 포화투수계수의 변화



<그림 4-38> 우분퇴비의 처리량에 따른 30, 45, 60㎝의 다층 토양 칼럼에서 포화투수계수



<그림 4-39> 우분퇴비의 처리량에 따른 다층 토양칼럼에서 깊이별 포화투수계수의 변화

그림 4-39에서 보는 바와 같이 무처리 다층토양 칼럼 내에서 투수계수의 안정된 값은 30, 45, 60 ㎝ 칼럼에서 각각 4.6, 4.2, 3.4×10^{-4} ㎝/sec 이었으며, 2 % 처리시 세 가지 조건 모두에서 무처리구에 비해 큰 폭으로 감소하여 각각 2.3, 1.9, 1.5×10^{-4} ㎝/sec의 투수계수 값을 보였다. 그리고 4 % 처리의 투수계수는 각각 1.8, 1.4, 1.2×10^{-4} ㎝/sec, 그리고 6 % 처리구에서는 각각 1.5, 1.2, 0.98×10^{-4} ㎝/sec의 포화 투수계수 값을 보였다. 이상의 결과를 종합할 때, 다층구조 토양에서 포화 투수계수는 유기물 처리량이 증가할수록, 그리고 토양의 깊이가 깊어질수록 감소된다는 것을 알 수 있었다.

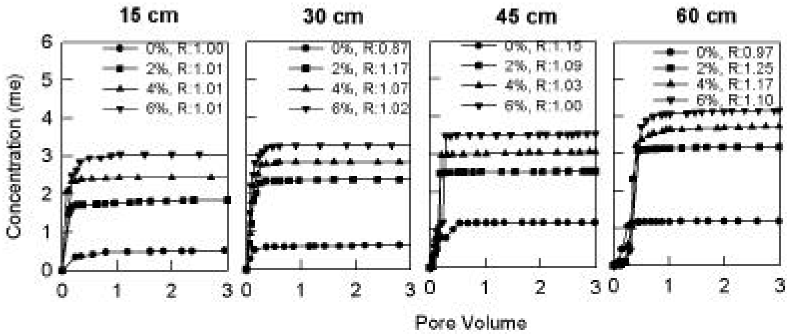
(4) 퇴비처리에 따른 음이온 용출특성변화

축분 퇴비내 존재하는 주요 무기물은 양이온은 NH_4^+, Ca^{2+}, Na^+, K^+ 등이며, 음이온은 Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-}, PO_4^{3-} 및 일부 유기산들이 있다. 이들 이온들 중 Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-}과 같은 음이온들은 토양교질과의 결합력이 약하고 토양수와 함께 이행성이 높기 때문에 이탈과 용탈에 의해 하천 및 지하수에 유입될 가능성이 높다.

따라서 퇴비처리에 따른 음이온들의 토양내 이행특성을 정량적으로 조사하고, 특히 다층 토양구조 (Multi-layered soil) 내에서 층변화와 토양깊이 변화에 따른 음이온의 이동특성을 정량적으로 조사하기 위해, 표층의 단일층 토양칼럼과 표층과 심층이 연결된 다층토양 칼럼을 이용한 용출실험을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

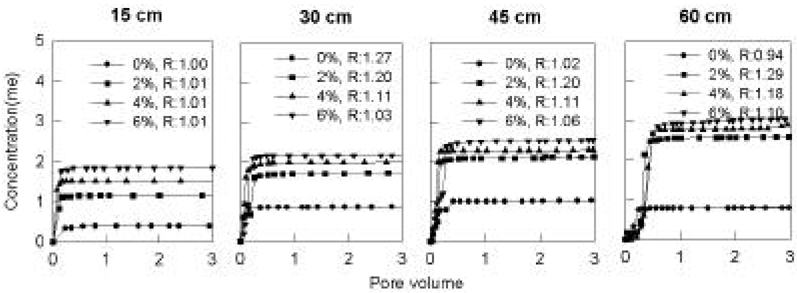
축분을 원료로 하여 제조된 퇴비는 사료중 일정비율로 포함되는 NaCl로 인해 다른 종류의 유기질퇴비에 비해 Cl^-가 많다. 본 실험에 사용한 표층과 심토 토양내 Cl^-함량은 각각 0.25와 0.078 $cmol_c$/㎏ 이었다. 그림 4-40에서 보여 주는 것처럼 처리별 Cl^-의 용출은 처리량이 증가함에 따라 정비례로 증가되었으며, 전체 Cl^-의 90 % 이상이 0.2 Pore volume 내에 용출되었다. 처리별 전체 Cl^-함량에 대한 용출된 Cl^-량의 비로 나타내는 회수율은 87 121 % 이었으며, 모든 처리에서 전체 Cl^-의 100 %가 회수되었다. 이처럼 Cl^-은 토양수의 이동과 밀접한 관련이 있음을 알 수 있었다.

한편 토양내 NO_3^-의 대부분은 요소나 유안의 Urea태 질소나 Ammonium태 질소가 미생물에 의한 질산화 작용 또는 유기태질소의 전환에 의해 토양에 존재하게 된다. 특히 토양내에서 질산화 (Nitrification) 속도는 토양내 수분상태와 토양온도에 의해 크게 지배를 받게되고, 30 40 ℃ 부근에서 그 활성이 가장 왕성한 것으로 보고되어 있다 (しまだ ながお, 昭和58年). 무처리시 토양



<그림 4-40> **우분퇴비의 처리량에 따른 불포화 단일 칼럼**(15㎝)**과 다층 칼럼** (30, 45, 60㎝)**에서** Cl^-**의 누적 용출 특성** (%: **유기물 함량**, R: **회수율**)

중 수용성 NO_3^--N**는** 0.18 cmolc/kg**이었으며 퇴비를** 2, 4, 6 % **처리시 추출된** NO_3^--N**는 각각** 1.15, 1.51, 1.83 mM**까지 증가하였다**. **증류수를 이용하여 칼럼 내 용출시험 결과**, 90 % **이상의** NO_3^--N**가** 0.2 Pore volume**안에 대부분 용출되었으며**, **모든 처리에서** 100 %**를 약간 넘는 회수율을 보였다**. **이는** NO_3^--N**의 높은 이행성 때문으로 추정된다** (**그림** 4-41).



<그림 4-41> **우분퇴비의 처리량에 따른 불포화 단일 칼럼**(15㎝)**과 다층 칼럼** (30, 45, 60㎝)**에서** NO_3^-**의 누적 용출 특성** (%: **유기물 함량**, R: **회수율**).

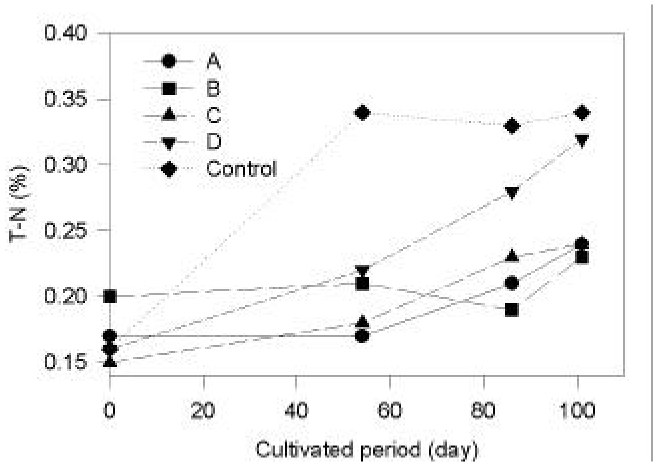
PO_4^{3-}**는 인산질 비료인 과인산석회와 같은 무기질 비료나**, **유기물의**

Protein의 구성원소로서 주로 토양내 공급된다. PO_4^{3-}는 다른 음이온과 달리 토양교질과 강한 흡착특성을 가지고 있으며, 토양수에 의해 거의 이동되지 않는 특징을 가지고 있다. 본 실험에 사용된 표층과 심층토양에서는 수용성 PO_4^{3-}는 검출되지 않았으나 처리된 퇴비에서는 2.69 me/100g가 검출되었다. 칼럼시험을 통한 물에 의한 용출 시험결과 전 처리구에서 PO_4^{3-}의 용출은 없었는데 이는 PO_4^{3-}의 강한 결합특성에 기인하는 것으로 판단한다 (Higston, 1967, 1968).

이상의 결과를 종합할 때, 우분퇴비를 토양에 처리시 토양수에 의해 이동되는 주요 음이온들 은 주로 Cl^-와 NO_3^-이며, PO_4^{3-}는 토양교질과의 강한 결합력에 의해 우분퇴비를 6%까지 시용하여도 조사된 전처리에서 용출되지 않았다.

(5) 재배지에서 T-N과 질산태질소의 변화

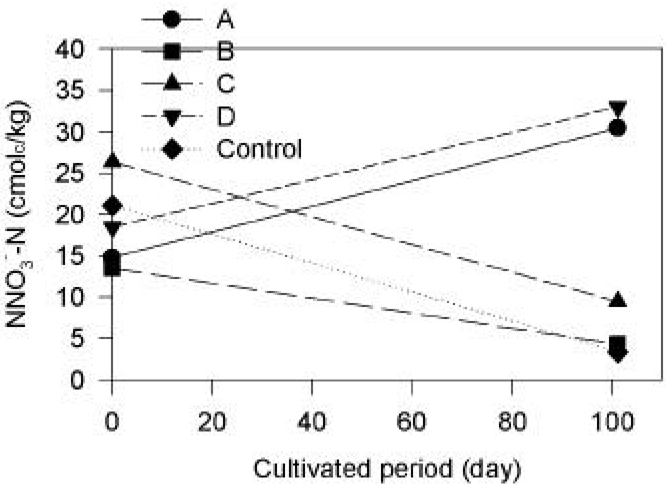
각각의 처리구별로 재배직전, 재배후 54일, 86일, 그리고 101일째 표층 20 ㎝깊이에서 토양시료를 토양시료채취기로 채취한 후 토양내 전질소 (T-N)과 질산태질소 (NO_3-N)의 함량변화를 조사하였다. 그림 4-42는 퇴비별 재배지에서의 전질소 함량의 변화를 살펴 본 것이다.



<그림 4-42> 시설재배지내 작물 재배중 총 질소의 함량 변화

그림에서 보여주는 바와 같이 전조사구에서 전질소의 함량이 재배기간이 증가함에 따라 증가하였는데 이는 대조구의 경우 요소와 같은 비료를

시비한 결과이고 나머지 퇴비처리구의 경우는 관개용수에 포함된 질산태 질소의 의해 전질소 함량이 증가 된 것으로 추정된다. 따라서 전질소를 기준으로 한 퇴비별 시용효과를 판단하기는 어렵다. 그림 4-43에서는 토양시료내에 존재하는 질산태 질소의 변화를 조사한 결과이다.



<그림 4-43> 시설재배지내 작물 재배중 총 질산태 질소의 함량 변화

퇴비별 처리구에서의 결과를 살펴보면 퇴비 A와 D에서 각각 약 1.5 내지 2.0 % 수준으로 질산태 질소의 함량이 증가되었다. 또한 퇴비D 처리구에서의 질산태 질소의 증가율이 A에 비하여 상대적으로 높음을 알 수 있다. 따라서 이와같은 결과로 추정하여 볼 때 토양에 처리된 퇴비내의 유기태 질소가 질산태질소로 전환하여 가용태의 영양원으로서 효과를 증대시키기 위하여는 시간이 필요하며 조사된 퇴비중 D가 질산태 질소를 기준으로 하여 볼 때 가장 좋은 것으로 판단된다. 따라서 미생물제제처리 효과의 의미가 클 것으로 판단된다.

한편 인산을 기준으로 하여 퇴비의 성능을 평가하여 보면 퇴비 B와 D가 인산을 작물에 공급하는데 적합하며, 또한 퇴비 D가 B보다 약 6 cmolc/kg 다 많은 인산을 공급할 수 있기에 본 실험에 사용된 퇴비중 D가 가장 우수한 기능을 가진 퇴비라고 말할 수 있다. 그러나 이와 같은 조건은 상기에서 조사되었던 수분별 질산화 작용을 좀 더 고려하면 이들 퇴비를 토양에 시용시 그 성능을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

다) 결론

시설재배지 토양에 처리된 퇴비별 질소 및 탄소의 전환특성, 전환물질의 토양내 거동특성 그리고 이들 퇴비가 토양에 가해졌을 때의 질산태 질소 및 인산을 기준으로 살펴본 결과를 다음과 같이 요약 할 수 있다.

(1) 토양내 처리된 우분퇴비의 유기태 질소와 탄소의 전환 과정을 조사하기 위해, 수분조건 변화에 따른 토양내 전질소, 질산태 질소, 전탄소 및 C/N율 변화를 조사한 결과, 첫째로, 전질소 손실률은 토양수분이 증가할수록 증대되었다. 따라서 전질소 손실을 감소시키기 위해서는 이들 퇴비 처리시 토양내 수분을 30 % 이하로 유지하는 것이 적절하다고 판단된다.

(2) 그러나 탄소의 분해율과 C/N율은 질소와는 반대로 토양수분 증가에 따라 감소되었다. 따라서 토양의 물리성 향상 및 양이온 치환용량을 증가시키기 위해서는 수부함량을 높여주는 것이 더 유리하다고 판단된다.

(3) 표층토양의 단일층 칼럼과 표층과 심층토양이 연결된 다층토양컬럼의 투수계수는 퇴비처리량이 증가할수록 큰 폭으로 감소하였다. 따라서 과도한 양의 관수는 토양내의 수분의 체류 시간을 증가시켜 토양의 수분함량을 중가시켜 질산태질소의 전환에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

(4) 용출실험 결과 염소이온과 질산태이온의 거의 대부분이 1 Pore Volume내에 대부분 용출되었으나 토양교질과 특이흡착반응이 매우 강한 PO_4^{3-}는 유기물을 6 %까지 과량 처리시에도 용출이 발생되지 않았다. 따라서 가용성 질산태의 작물체로의 흡수를 증가시키기 위해서는 관수를 조절하거나 질소의 전환속도를 늪게함으로서 조절해야 될 것으로 판단된다.

(5) 토양에 처리된 퇴비내의 유기태 질소가 질산태질소로 전환하여 가용태의 영양원으로서 효과를 증대시키기 위하여는 시간이 필요하며 조사된 퇴비중 D가 질산태 질소나 인산이온을 기준으로 하면 가장 좋은 퇴비로 판단된다. 그러나 이와 같은 조건은 위에서 조사되었던 수분별 질산화 작용을 좀 더 고려하면 이외의 퇴비도 토양에 시용시 그 성능을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

이상의 결과를 종합하면 토양에 가해진 퇴비로내의 유기태 질소를 적절히 이용하기 위해서는 토양수분관리가 매우 중요한 것으로 판단되며, 재배지에서의 조건을 감안한 퇴비를 기준할 때 미생물제제처리로 생산된 퇴비 D가 가장 적합한 퇴비로 판단된다.

3. 비효 및 지력평가

96년 퇴비의 부숙도 및 안정성 평가를 실시한 퇴비를 이용하여 비닐하우스내에서 작물비효시험을 실시하였다. 이 때 퇴비시용에 따른 토양의 이화학성 변화 및 작물 생육 조사를 실시하였다. 재배실험은 공주군 우성면에 위치한 시설재배지에서 수행하였으며, 재배작물은 오이를 공시작물로 3월 3일에 정식하여 5월 10일까지 재배하였다. 처리구는 퇴비처리구 A, B, C, D와 농가처리구를 Control로 하여 모두 5처리구를 3반복 난괴법으로 하였으며, 처리구의 규모는 약 3 ㎡이었고 퇴비는 처리구당 100 t/ha씩 시용하였다. 작물 재배전에 석회와 붕사를 각각 1 t/ha, 10 kg/ha을 시용하였다. 작물 재배기간중 N-P-K (30-10-10)를 200 kg/ha씩 5일에 한 번씩 물에 용해시켜 관수를 실시하였다. 관수에 사용된 지하수는 pH, EC가 각각 6.4, 0.15 dS/m이었다. 처리구별 퇴비의 시비는 2월 17일 실시하였으며 토양의 시료채취는 2월 14일 (재배전)과 4월9일, 5월7일, 5월22일에 4회 실시하였고 화학분석용 오이는 4월 14일, 5월 9일에 시료를 채취하였다.

처리된 퇴비중의 질소는 1.74 1.95 %이었고, 탄소는 43 % 전후이었다 (표 4-14). 다량 원소중에는 K가 1.24 1.94 %로 비교적 많이 함유되어 있었으며, Ca가 다른 원소에 비해 적게 함유되어 있었다. EC는 30 35 dS/m 정도였다.

<표 4-14> 퇴비원료의 화학적 특성

시 료	T-N	T-C	EC	Ca	Mg	K	Na
	%		(dS/m)	%			
A	1.74	44.2	35.2	0.24	0.99	1.24	0.45
B	1.95	43.9	30.4	0.28	1.07	1.66	0.36
C	1.83	42.9	36.9	0.31	1.01	1.71	0.30
D	1.91	42.1	32.8	0.32	1.19	1.94	0.35

A : Control (우분 + 톱밥)

B : Control + 질석 + 쌀겨 (Bacteria 처리) 12kg

C : Control + 질석 + 쌀겨(Bacteria + *Lactobacillus* 처리) 16kg

D : C + 주 발효 후 Fungi 처리

표 4-15는 작물 재배전과 재배 과정중 토양의 질소와 탄소 및 EC와 pH의 변화를 살펴본 것이다. 재배전 토양의 질소와 탄소의 함량은 각각 0.15 0.20, 3.5 5.3 %였고, EC는 5.95 8.10 dS/㎥이었으며 pH는 6.94 7.35로 중성이었다. 생육기간 중 질소의 변화를 살펴보면 재배후 질소의 양이 증가하였다. 그 이유는 퇴비의 시용과 관수를 통한 질소의 계속적인 유입이 오이가 지속적으로 흡수하는 질소보다 높은 것으로 판단된다. 또한 대조구는 농가에서 직접 재배방식을 이용하였고 생육기간중 질소의 함량이 다소 증가하였다. 재배전 처리구의 EC는 6.0 6.5으로 모두 5 dS/m 이상의 다소 높은 편이었고 SAR (Sodium Adsorption Ratio)은 1.97 2.34이었으므로 Saline토양의 성질을 지니고 있었다. 생육기간중 토양에서의 EC의 변화는 작물의 양분 흡수에 의한 감소와 토양수분의 이동에 의한 변화에 많은 영향을 받는다. 생육기간중 pH의 변화는 재배후가 재배전에 비해 다소 감

<표 4-15> 재배과정에 따른 토양중 질소, 탄소, EC 및 pH의 변화

재배기간	처리구	T-N	T-C	EC	pH
		%		(dS/㎡)	(1:5)
D-0 (재배전)	A	0.17	3.6	6.0	7.2
	B	0.20	5.3	6.3	6.9
	C	0.15	3.5	8.1	7.2
	D	0.16	3.8	6.1	7.5
	Control*	0.16	3.6	6.5	7.4
D-54	A	0.17	3.9	3.9	7.5
	B	0.21	4.8	5.9	7.1
	C	0.18	4.2	7.5	7.2
	D	0.22	4.6	7.8	7.1
	Control	0.34	6.9	5.4	7.4
D-86	A	0.21	6.7	5.8	7.2
	B	0.19	7.3	7.5	6.9
	C	0.23	7.8	5.4	7.2
	D	0.28	7.8	8.5	6.9
	Control	0.33	5.2	6.0	7.3
D-101	A	0.24	5.2	9.2	6.9
	B	0.23	5.3	5.9	6.9
	C	0.24	5.3	6.1	7.0
	D	0.32	6.5	9.6	6.6
	Control	0.34	4.1	3.6	7.2

* : 농가처리구

소하는 경향을 보이고 있다. 특히 D처리구는 pH 7.5에서 6.6으로 가장 큰 폭으로 낮아졌다. 또한 오이의 최적 생육 pH가 5.8 7.2인데 재배전 토양은 비교적 pH가 높은 편이었다.

재배전 토양의 용적비중 (Bulk Density, B.D.)은 유기물이 많이 함유되어 있어 1.19 1.24 g/cm^3으로 비교적 낮은 편이었으며 여기에 퇴비를 100 t/ha을 시용하였기 때문에 재배후기에는 더욱 낮아져 B.D.가 1.09 1.14 g/cm^3까지 낮아졌다. Ca, Mg, K등 다량원소는 재배전보다 재배후에 다소 증가하였는데 이것은 퇴비의 시용에 의한 것이며, 작물이 흡수하는 양과 시비로 공급된 양의 수지가 같지 않았기 때문이다. 즉, 토양중 양분의 축적현상이 생긴 것이다.

<표 4-16> 재배전·후의 토양중 다량원소의 함량와 B.D. 및 CEC의 변화

재배구분	처리구	Ca	Mg	K	Na	B.D	CEC
		%				g/cm^3	cmolc/kg
재배전 (D-0)	A	2.11	0.49	0.85	0.15	1.22	13.8
	B	2.19	0.51	0.83	0.14	1.23	14.5
	C	2.66	0.64	0.77	0.20	1.19	12.9
	D	2.63	0.61	0.81	0.17	1.22	12.1
	Control	2.08	0.40	1.05	0.20	1.24	13.8
재배후 (D0-101)	A	2.39	0.58	1.01	0.26	1.12	18.6
	B	2.54	0.64	1.02	0.26	1.14	19.1
	C	2.84	0.87	0.93	0.22	1.09	17.5
	D	3.55	1.08	1.14	0.23	1.11	20.7
	Control	2.32	0.67	0.98	0.20	1.13	17.3

토양의 일반적인 CEC는 10 cmolc/kg정도로 본 시험에 사용된 하우스 토양의 CEC는 12.1 14.5 cmolc/kg로 약간 높은 편이었으며, 여기서 CEC가 높은 퇴비를 시용함으로써 17.3 20.7 cmolc/kg로 높아졌다. 재배전 토양의 다량원소의 함량은 Ca, K, Mg, Na순으로 낮아졌으며 Ca는 토양중에 2.11 2.66 %로써 비교적 다른 다량 원소보다 많이 함유되어 있는 것으로

나타났다. 퇴비를 토양에 시용하여 공급된 양분과 오이작물의 흡수에 의한 양분의 손실량을 재배 후기의 잔존량으로 비교해 보면 재배전보다 재배한 다음 토양의 양분이 증가하는 것으로 보아 작물의 흡수에 의한 손실량이 시용된 양분보다 적은 것으로 판단된다. 이와 같이 양분이 적정수준까지 증가되는 것은 토양비옥도를 향상시키는 측면에서 바람직하나, 그 수준을 초과하여 양분이 과다축적되지 않도록 시비관리를 해야 한다.

재배전 토양의 치환성양이온 함량은 Ca, Na, K, Mg 순으로 적었고 Ca는 9.1 10.2 cmol$_c$/kg이었으며, Na는 3.1 4.0 cmol$_c$/kg로 비교적 높았다. Na는 토양중에 들어 있는 총 함량에 비해 치환성이 40 50 %를 차지하고 있어 쉽게 작물에 이용될 수 있을 것이다. 반면 Mg는 Na에 비해 토양중에 총 함량은 많았지만 치환성양이온 함량은 Na보다 낮은 2.0 3.6 cmol$_c$/kg을 나타냈다. 재배후 토양도 마찬가지로 치환성양이온 함량은 Ca, Na, K, Mg순으로 적었고, 치환성 Ca는 약간 감소하였으며, Ca를 제외한 다른 이온들은 약간씩 증가하였다.

<표 4-17> 재배과정에 따른 토양중 치환·수용성 양이온의 변화

재배기간	처리구	치환성양이온				수용성양이온			
		Ca	Mg	K	Na	Ca	Mg	K	Na
D-0 (재배전)	A	9.1	2.2	2.5	3.1	1.6	0.6	1.2	1.6
	B	10.1	2.4	2.8	3.4	1.9	0.8	1.3	1.9
	C	10.2	3.6	2.7	4.0	2.5	1.0	1.2	2.1
	D	10.0	1.7	2.8	3.6	2.0	0.6	1.3	1.8
	Control	9.2	2.12	3.0	3.9	1.9	0.7	1.5	2.0
D-54	A	12.1	3.0	2.8	2.2	0.8	0.4	1.0	1.4
	B	10.1	2.8	3.4	2.7	1.5	0.8	1.6	1.8
	C	13.3	4.2	4.4	3.6	1.8	1.2	2.2	2.5
	D	14.5	6.7	5.6	4.3	2.3	1.2	2.9	2.6
	Control	11.9	2.5	3.0	2.8	1.3	0.6	1.3	1.8
D-86	A	9.0	2.8	3.4	3.0	1.3	0.8	1.5	1.9
	B	12.9	6.4	5.1	4.8	1.8	1.2	2.1	2.4
	C	10.9	5.4	4.1	3.2	0.9	0.8	1.9	2.0
	D	10.1	5.6	5.5	4.3	1.7	1.5	2.9	2.9
	Control	9.3	2.6	3.0	3.0	1.6	0.8	1.3	2.1
D-101	A	10.3	4.4	4.5	5.1	2.5	1.4	2.4	2.7
	B	8.0	3.5	3.7	4.0	1.2	0.8	1.6	2.1
	C	8.6	3.6	3.7	4.2	1.3	0.8	1.8	2.1
	D	8.8	5.4	5.3	5.2	1.6	1.7	3.1	3.0
	Control	7.5	1.0	2.5	3.5	0.6	0.3	0.9	1.4

(단위 : cmolc/kg)

수용성양이온 함량은 치환성양이온에서 가장 많이 함유하고 있던 Ca보다 Na, K가 상대적으로 많이 용출되었는데, 이것은 음하전을 갖고 있는 토양입자와 1가의 원자가를 갖는 Na, K이 비교적 결합력이 작기 때문으로 해석된다. 또한 Mg도 치환성보다 수용성으로 용출되는 양이 상대적으로 Na, K보다 적게 용출된 것을 볼 수 있다. 재배전 토양의 수용성양이온 함량은 Na는 1.6 2.1 cmolc/kg이었고, Mg는 0.6 1.0 cmolc/kg로 치환성과 마찬가지로 가장 적었다. 재배기간 중 토양의 치환성, 수용성양이온의 변화는 거의 비슷한 경향을 보였다.

재배전 토양에서 수용성음이온 중에 Cl^-이 19.7 34.7 cmolc/kg로 가장 많고 PO_4^{3-}가 가장 적게 함유되어 있었다. 그러나 음이온중에 가장 이동성이 적고 고정되기 쉬운 PO_4^{3-}는 재배 후에 처리구마다 증가하는 경향이었으며 특히 B, D의 처리구에서 많은 양이 증가한 것으로 나타났다.

<표 4-18> 재배전·후의 수용성 음이온의 변화 (단위 : cmolc/kg)

재배기간	처리구	Cl^-	NO_3^-	PO_4^{3-}	SO_4^{2-}
D-0 (재배전)	A	19.7	14.8	1.5	18.3
	B	24.8	13.5	1.2	19.2
	C	34.7	26.4	0.6	18.0
	D	21.5	18.5	1.0	12.2
	Control	26.0	21.1	1.1	12.9
D-101 (재배후)	A	33.1	30.5	6.6	20.0
	B	22.5	4.3	14.8	14.6
	C	21.3	9.5	9.0	13.9
	D	28.9	33.0	20.8	15.1
	Control	11.9	3.4	2.1	7.3

오이는 수분이 95 %로써 대부분을 차지하고 있으며 건물중에 의한 오이의 질소함량은 대부분의 처리구에서 2.4 % 전후의 함량을 보이고 있으며 재배전·후의 함량 변화는 거의 나타나지 않았고 탄소의 함량은 51 % 전후

이었다. 다량원소의 함량은 K이 가장 많이 함유되어 있었으며 그 함량은 4 5 %로 비교적 다른 원소들보다 많이 함유되어 있었다. Na도 비교적 많이 함유되어 있었으며 Mg가 가장 적게 함유되어 있었다. Ca는 재배초기보다 재배후기에서 Control구를 제외한 다른 처리구에서 함량이 비교적 감소하였다.

<표 4-19> 수확 초기와 말기의 질소 및 탄소와 양이온의 함량

시 료		T-N	T-C	Total-cations (%)			
		%		Ca	Mg	K	Na
수확초기 (D-59)	A	2.47	51.5	0.55	0.32	4.29	0.49
	B	2.33	50.6	0.45	0.25	5.28	0.76
	C	2.32	51.1	0.41	0.35	4.50	0.55
	D	2.44	50.6	0.51	0.26	4.64	0.59
	Control	2.41	50.8	0.36	0.29	4.33	0.58
수확말기 (D-88)	A	2.44	51.8	0.39	0.27	4.42	0.52
	B	2.38	51.1	0.30	0.34	4.83	0.59
	C	2.33	51.2	0.39	0.37	5.50	0.80
	D	2.54	50.8	0.28	0.38	5.79	0.83
	Control	2.65	51.5	0.40	0.28	4.45	0.48

이상의 결과를 종합하면 다음과 같다.

● 토양에 퇴비를 100 t/ha을 시용함으로써 각 처리구에서 용적비중이 약 1 g/cm^3정도 낮아졌고, 양이온치환능력은 4 5 $cmol_c$/kg정도 높아졌으며, 특히, 4종류의 미생물로 이루어진 제제로 생산된 D처리구는 약 8 $cmol_c$/kg 정도 높아졌다.

● 토양 pH는 작물 재배후 낮아지는 경향을 보이고 있으며, D처리구가 pH 6.6 7.4로 가장 큰 폭으로 낮아졌다.

● 수용성음이온중에 PO_4^{-3}는 재배후에 증가하는 경향이었으며, 그 중 B, D처리구가 상대적으로 다른 처리구에 비해 월등하였다.

● 오이에 흡수되는 양이온은 K이 가장 많았으며, 재배전·후의 함량변화는 거의 비슷한 경향이었다.

제 5 장 미생물제제의 실제운용 및 사업성 검토

제1절 미생물제제의 실제운용

1. 사료첨가용 미생물제제의 실제운용

미생물제제를 이용한 퇴비생산을 일원화하기 위하여, 제제를 육우에 직접 투여하는 실험을 수행하고 육우의 증체율 및 우분의 성분을 조사하였다. 사육실험은 공주군 우성면에 위치한 소 사육장에서 한우를 대상으로 실시하였다. 거세한 숫소 8두를 각각 4두씩 실험군과 대조군으로 하였으며, 매일 두당 볏짚 1.5 kg과 조제사료 3.8 kg을 공급하였고, 자유급수를 실시하였다. 실험군은 건조시켜 탈지분유와 혼합한 미생물 균체를 두당 2 g씩 조제사료에 섞어 매일 공급하였다.

<표 5-1> 미생물제제를 투여한 한우의 체중 증가

구 분	평 균 체 중 (kg)			증체율 (Kg/일)
	1 일	64 일	160 일	
대 조 군	102	153	254	0.95
실 험 군	128	207	351	1.39

표 5-1에서와 같이 64일 동안 대조군에서는 평균 50%의 체중증가가 관찰된 반면 실험군에서는 62% 증가율을 보였으며, 160일을 기준으로 한 체중 증가율은 실험군의 경우 174%, 대조군은 149%로 나타나 전체적으로 실험군에서 증체율이 크게 증가한 것으로 관찰되었다. 이는 투여한 미생물이 강장작용을 하는 균이므로 장의 기능을 강화시켜 소화율 등을 증가시키기 때문으로 사료되는데, 이를 확인하기 위하여 우분을 채취하여 냄새 성분과 장내의 미생물 군집 변화를 관찰해 보았다 (표 5-2). 시료 투여후 7일과 45일, 그리고 90일째 우분을 대상으로 하였다. 표에서 보면 대조군에 비해 실험군에서 총 미생물 수가 크게 감소하였음을 알 수 있다. 이는 투여한 *Lactobacillus*가 장내에서 우점종으로 자리하여 다른 유해 미생물의 성장을 억제하였거나, 대사산물에 의해 장 내의 pH를 감소시켜 다른 세균들이 성장하는 것을 방해하였기 때문인 것으로 보인다. 투여한 미생물이 장내에

서 우점종으로 자리하였다면, 균의 일부가 분에 섞여 배설될 것이므로 이를 확인하기 위하여 *Lactobacillus*를 선택적으로 배양할 수 있는 SL 배지를 이용하여 혐기적인 조건에서 90일째 우분시료 현탁액을 배양하였다. 37℃에서 1일 동안 배양하고 *Lactobacillus* 수를 측정한 결과 대조군 시료에서는 1 x 10^7/㎖의 균이 검출된 반면 실험군 시료에서는 10.5 x 10^7/㎖의 균이 검출되었다. 이상의 두가지 결과를 보면 투여한 미생물이 장내에 우점종으로 자리하여, 소의 소화를 촉진하였을 뿐만 아니라,다른 유해세균의 성장을 억제한 것을 알 수 있다. 현장에서 관찰되는 현저한 냄새의 감소나, 변이 묽은 정도의 차이 등도 이를 뒷받침해 준다.

<표 5-2> 우분의 총 미생물수 분석

구 분	총 미 생 물 수 (x10^7/㎖)		
	7 일	45 일	90 일
대 조 군	42.6	38.2	28.1
실 험 군	7.0	5.0	7.5

현장에서 확인되는 냄새의 감소를 과학적으로 검정하기 위하여 시료 투여 후 45일 째 우분을 채취하고, 증류수에 현탁한 후 여과하여 냄새의 주성분인 휘발성 물질을 분석하였다 (표 5-3). 대조군의 경우 propionic acid가 전체에서 2%, butyric acid가 14%, 그리고 valeric acid가 1.6%를 차지하였지만, 실험군에서는 butyric acid만이 전체에서 5.9%의 농도로 검출되었을 뿐 나머지 두 종류는 검출되지 않았다. 따라서 제제 투여에 의해 우분의 냄새 감소가 실제적으로 휘발성 물질이 크게 감소한데서 기인하였음을 알 수 있다.

<표 5-3> 우분의 휘발성 물질 분석

구 분	대 조 군	실 험 군
Propionic acid	0.0296 ㎕/㎖	0.0000 ㎕/㎖
Butyric acid	0.6521 ㎕/㎖	0.2109 ㎕/㎖
Valeric acid	0.0005 ㎕/㎖	0.0000 ㎕/㎖

이상의 결과에서 보면, 한우에 직접 투여한 미생물에 의해 증체량이 증

가하였으며 우분의 냄새가 크게 감소하였음을 알 수 있다. 이는 투여한 미생물이 강장작용을 하여 소의 소화율을 증가시키고 장내 유해균의 성장을 억제하였기 때문인 것으로 사료된다. 증체량의 증가는 한우의 사육기간을 단축시켜, 볏짚이나 조제사료 이용량을 감소시켜 사육농가에 경제적인 효과를 가져다 줄 수 있다. 그리고 소와 같이 사육기간이 긴 가축에 있어서는 사육기간의 단축으로 인한 효과가 미미하지만, 사육기간이 짧은 닭이나 돼지 사육에 미생물제제의 투여를 확장한다면 보다 큰 효과를 볼 수 있을 것으로 사료되므로, 현재 양돈 및 양계농가를 상대로 실험을 진행할 계획이다. 또한 우분냄새의 감소는, 사육농가의 애로사항인 우분 악취에 의한 공해를 방지하게 해 줄 뿐만 아니라, 축사에서 채취한 우분을 이용한 퇴비제조 작업에도 유리하게 작용할 것으로 보인다.

2. 퇴비제조용 미생물제제의 실제운용

가. 우분을 이용한 대량 퇴비생산 및 작물시험

1) 퇴비의 소규모 생산

본 실험에 사용한 원료는 축사에서 배출된 우분과 수분조절제로 사용된 톱밥이다. 원료의 화학적 조성은 표 5-4과 같다.

우분의 함수율은 90 %였기 때문에 수분을 퇴비화 적정수준인 60 %로 조정하기 위해 수분이 20 %인 톱밥을 혼합하였다. 이렇게 혼합된 물질은 0.5 ㎥ 크기의 플라스틱 용기에 넣어 퇴비화를 실시하였으며, 별도의 공기공급을 위한 장치없이 퇴비화 시작 후 2주 동안은 3일에 한번씩, 그 후에는 일주일에 1회씩 실시하였다. 퇴비화의 규모는 0.4 ㎥이었으며 1차 실험과 마찬가지로 처리구를 설정하여 퇴비화를 실시하였다. 시료채취는 주기적인 뒤집기 후 골고루 혼합된 상태에서 취하였으며, 채취한 시료는 음지에서 풍건하여 1 ㎜체를 통과하도록 분쇄한 시료를 분석에 이용하였다.

<표 5-4> 사용된 원료의 이화학적 성질

원 료	pH (1:5)	EC (dS/m)	T-N	T-C	C/N	Ca	Mg	K	Na
			%		ratio	%			
우분+톱밥	6.87	25.8	1.5	48.9	33.5	0.12	0.36	1.27	0.28

<표 5-5> **퇴비화과정 중 화학성 변화**

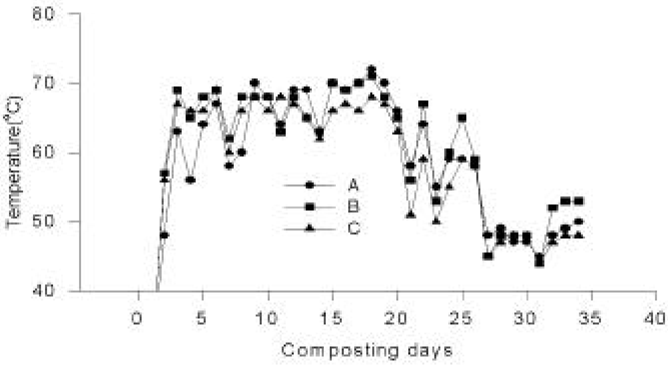
처리군	퇴비화 기간	pH (1:5)	EC (dS/m)	T-C	T-N	C/N	NH_4^+	NO_3^-
				%		ratio	mg/kg	
A	1	6.87	25.8	48.9	1.46	33.5	205	147
	4	6.92	25.7	48.4	1.55	31.2	275	92
	8	7.16	27.0	47.2	1.59	29.7	385	148
	13	7.30	28.8	47.4	1.6	29.6	406	94
	18	7.33	28.7	47.5	1.6	29.7	516	121
	31	7.72	29.9	46.5	1.64	28.4	300	310
	51	7.73	34.2	46.3	1.66	27.9	210	750
B	1	6.62	24.2	43.4	1.54	28.2	297	238
	4	6.93	25.0	43.3	1.52	28.5.	300	180
	8	7.42	26.3	42.2	1.58	26.7	416	119
	13	7.58	27.6	41.5	1.62	25.6	439	169
	18	7.78	28.3	40.4	1.63	24.0	361	121
	31	7.57	30.6	39.7	1.75	22.7	392	181
	51	7.56	30.1	39.6	1.79	22.1	270	809
C	1	6.74	23.2	40.4	1.54	26.2	239	120
	4	6.72	25.3	39.7	1.58	25.1	303	152
	8	7.11	26.8	39.8	1.64	24.3	460	259
	13	7.25	27.3	39.0	1.68	23.2	323	117
	18	7.74	25.7	38.5	1.72	22.4	396	152
	31	7.64	28.4	37.5	1.73	21.7	269	269
	51	7.76	29.3	37.5	1.75	21.4	149	596

<표 5-6> **퇴비화 과정중 발아지표** (G.I.)**와 평균 뿌리 길이**

퇴비화 기간	A		B		C	
	뿌리길이 (㎝)	G.I.	뿌리길이 (㎝)	G.I.	뿌리길이 (㎝)	G.I.
1	19.4	69	12..5	44	6.5	23
4	0	0	3.3	12	0	0
8	8.5	30	2.8	10	1.5	5
13	15.2	54	4.4	16	1.4	5
18	3.7	13	23.8	85	15.0	53
31	25.8	92	20.4	73	35.0	125
51	19.7	70	26.1	93	27.6	98
Control	28.2					

퇴비화과정중 온도 측정은 처리구의 상층부를 중심으로 실시하였으며. 이틀에 한번 측정하였다. 퇴비화과정 중 화학성 변화는 표 5-5, 식물독성실험에서 발아지표 (Germination index, G. I.)값과 뿌리의 평균길이는 표 5-6에 제시되었다.

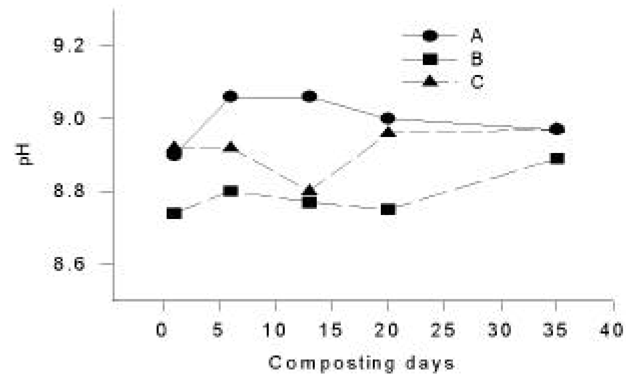
1차 실험과 달리 온도변화는 15일 까지 지속적으로 상승하였으며 20일 이후에는 하강하였다. 온도변화가 1차 실험과 다른 경향을 보이고 있는 것은 1차 실험은 퇴비더미를 개방시켜 놓았고 왕겨와 같이 입자가 큰 물질이 혼합됨으로써 공극을 개선해 주었기 때문에 자연적인 공기공급이 어느정도 이루어졌다고 볼 수 있다. 그러나 이번에는 플라스틱 용기내에 퇴비화를 실시하여 자연적인 공기공급이 제한되었고 퇴비화과정중 실시한 뒤집기로는 충분한 공기공급이 되지 않았다.



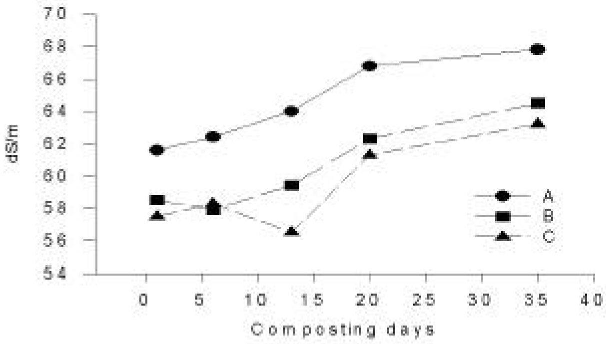
<그림 5-1> 퇴비화과정중 온도변화.

그림 5-1에 제시된 온도변화는 표층 40 ㎝부위에서 온도를 측정한 것이다(그 이하 부분의 온도변화는 여기에 기재 되지 않았음). 60 ㎝부위는 40 ㎝부위보다 낮은 편이었고 상당한 차이를 보이는 것으로 보아 50 ㎝이하의 부분에는 충분한 공기공급이 어려웠던 것으로 판단된다. 처리구간의 온도변화는 큰 차이를 보이지 않았지만 B처리구가 다소 고온부분에서 수일 더 지속되었다.

퇴비화 과정중 pH 변화는 계속해서 증가하다가 B, C처리구는 20일 그리고 A처리구는 30일 이후에 변화가 거의 없었다. 1차 실험의 원료와 다른 생분을 이용하였기 때문에 이분해성물질은 단백질이 분해되면서 암모니아 가스의 방출로 pH가 상승하였으며 그 변화가 뚜렷하였다. EC의 변화도 마찬가지로 초기의 분해가 활발히 일어났기 때문에 퇴비화 20일째까지 급격하게 증가하였다가 20일 이후에는 비교적 퇴비화가 안정화되면서 변화율이 감소하였다. 퇴비화 1차실험과 달리 EC의 변화가 더 뚜렷하였다. EC변화가 같은 우분이더라도 1, 2차 실험에서 다른 결과를 보이고 있는 이유는 우분이 축사에 머문 시간 때문이라는 것을 알 수 있다.

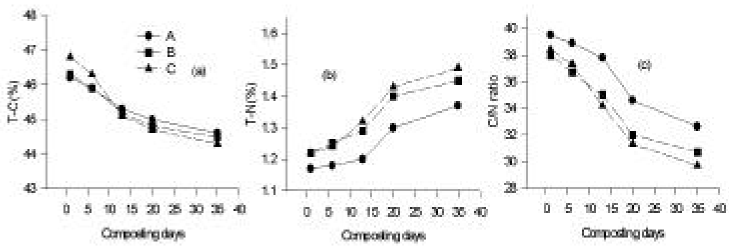


< 그림 5-2> 퇴비화과정중 pH의 변화



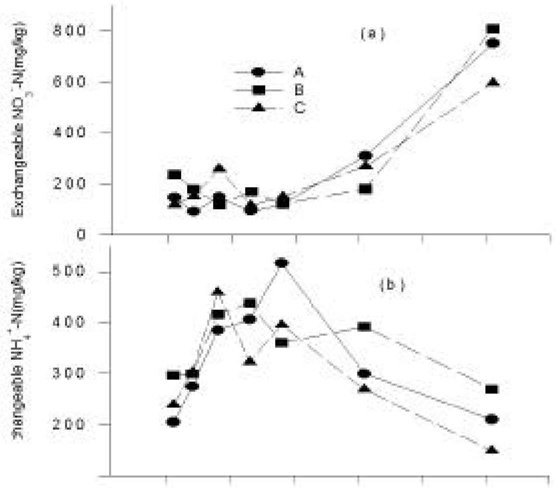
< 그림 5-3> 퇴비화과정중 EC의 변화

처리구간의 탄소함량이 큰 차이를 보이고 있는데, 이것은 미생물을 질석에 배양시켜 혼합시켰기 때문에 질석의 혼합량에 따라 차이가 나타난 것으로 추정된다. 처리구간의 탄소의 감소량은 A, B, C처리구 각각 2.6, 2.8, 2.9 %가 감소하였으며 처리구간의 차이는 크지 않았다. 질소는 퇴비화가 진행될수록 증가하는 경향을 보이고 있으며 증가량은 0.2 0.25 %이었으며 탄소의 감소와 처리구간의 큰 차이를 보기는 어려웠다. C/N율은 1차 실험에 비해 높지 않았으며 퇴비화하는데 적정수준이었다. 초기 C/N율에 대한 최종 C/N율의 감소율을 살펴보면 B처리구가 22%로 다소 컸으며 A와 C처리구는 각각 18, 17%로 유의성 있는 차이를 보이고 있지 않는 점으로 보아 B처리구가 생원료에 비교하여 부숙도가 증가되었다고 할 수 있다. C/N율의 변화는 물질의 특성에 따라 다를 수 있고 난분해성인 톱밥의 혼합으로 C/N율의 감소가 더디게 일어날 수 있다.



<그림 5-4> 퇴비화 과정중 T-C, T-N 및 C/N 율의 변화.

치환성NH_4^+-N는 비교적 이분해성 물질인 단배질에 비해 퇴비화 초기에 급격히 증가되는 Proteolytic과 ammonia-producing bacteria에 의해 (Riffaldi 등, 1986) 초기에 많이 생성되다가 점점 감소하는 경향을 보이고 있는데 이것은 암모니아 가스로의 방출과 질산태 질산으로 전환이 이루어지는 것으로 판단된다. 그와 대조적으로 치환성 NO_3^--N는 초기에 높은 온도와 발생되는 암모니아가스에 의해 Autotrophic nitrifying bacteria가 강하게 저해를 받아 거의 생성되지 않다가 퇴비화 중반 이후에 계속적으로 증가되는 경향을 보이고 있다. 치환성 NH_4^+-N는 처리구 모두 퇴비화가 진행되면서 증가하였다가 감소하는 경향을 보이고 있었으며 특히 A처리구는 20일까지 500 mg/kg으로 다른 처리구에 비해 높은 함량을 보였다. 치환성 NO_3^--N는 퇴비화 20일까지 전 처리구에서 200 mg/kg이 존재하였다가 30일 이후에는 급격히 증가하였으며 처리구간의 큰 차이는 보이고 있지 않으며 비슷한 경향을 보였다.

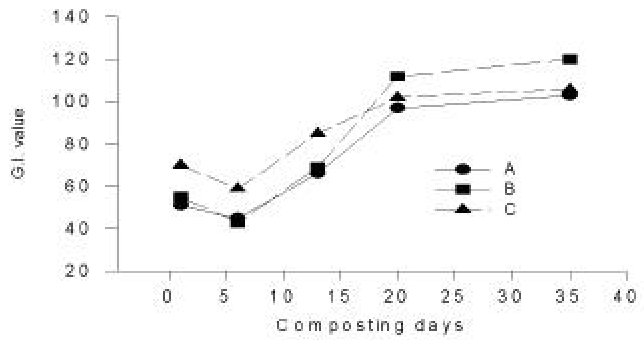


<그림 5-5> 퇴비화 과정중 치환성 NH_4^+-N(a)와 NO_3^--N(b)의 변화

1차 실험에서 EC값이 50이상으로 높았지만 여기에서는 EC값이 30수준이

기 때문에 수용성 염류에 대한 장애는 거의 없을 것이며 퇴비화 1일째는 원료의 분해가 이루어지지 않은 상태이기 때문에 저해가 그리 크지 않았지만 분해가 시작되면서 계속적인 유기산의 생성으로 작물에 저해를 일으키는 원인이 될 수 있다.

C처리구는 4 12일까지 매우 낮은 G.I.값을 보이고 있는데, 이 시기의 추출액에서 생장한 배추 줄기에는 큰 저해를 보이지 않았지만, 뿌리가 크게 저해를 받았다. 처리구간의 G.I.값을 살펴보면 20일 이후에 80정도로 높아졌으나 C처리구의 31일째를 제외하고 그 이상의 높은 값은 나타나지 않았다. 이러한 이유는 퇴비화과정중 식물에 저해물질이 계속적으로 존재하고 있음을 의미한다.



<그림 5-6> 퇴비화 과정중 G.I.값의 변화

이상의 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

▧ 온도변화는 퇴비화가 시작한 지 13일까지 서서히 60 ℃까지 상승하였다가 그 온도를 계속적으로 유지하지 못하고 하강하였다. 처리구간의 큰 차이는 없지만 B처리구가 수일 더 고온을 유지하였다.

▧ 탄소의 감소율은 10 %미만이었고 C/N율의 감소율은 B처리구가 22 %로 가장 높았으며 A, C처리구가 각각 17, 18 %이었다.

▧ 치환성 NH_4^+-N는 증가하다 감소하였으며 A처리구가 가장 많은 양을

보였고, 치환성 NO_3^--N는 초기에 변화가 거의 없다가 20일 이후에 급격히 증가하였다.

▧ 전 처리구에서 퇴비화 4 18일째까지 G.I.값이 80이하였으며 20일 이후에 80이상으로 높아졌지만 A처리구는 80이하의 값을 보여 다소 식물의 생육에 장애를 일으키는 물질이 존재하는 것으로 판단되었다.

2) 공장규모의 퇴비화 적용 및 퇴비품질 연구

본 실험에 사용한 원료는 축사에서 6개월 이상 정치되어 있는 우분과 이미 축사바닥에 깔아 놓은 왕겨와 톱밥이 혼합된 것을 이용하였다. 혼합된 원료의 이화학적 성질은 표 5-7에 제시한 바와 같다.

<표 5-7> 사용된 원료의 이화학적 성질

원 료	pH (1:5)	EC (dS/m)	T-N (%)	T-C (%)	C/N ratio	Ca (%)	Mg (%)	K (%)	Na (%)
우분+왕겨+톱밥	8.9	60.5	1.27	46.2	39.5	0.06	0.20	1.44	0.51

혼합된 퇴비원료 자체의 수분함량이 60%이었기 때문에 별도의 수분조절제는 필요하지 않았고 퇴비제조는 개방된 정체식을 이용하였다. 특별한 통기시설은 갖추지 않았고 주기적인 뒤집기가 퇴비더미에 공기를 공급하는 주요 공급원이었다. 퇴비단의 규모는 2 m^3이었으며, 처리구는 대조구(A)와 Bacteria, Lactobacillus를 처리한 처리구(B), Bacteria, Lactobacillus, 광합성세균을 처리한 처리구(C)로 3개를 만들어 퇴비화를 실시하였다.

시료채취는 주기적인 뒤집기 후 골고루 혼합된 물질을 채취하였으며, 채취한 시료는 음지에서 풍건하여 분쇄한 후 2㎜체를 통과한 시료를 분석에 이용하였다. 퇴비화기간중 온도 측정은 퇴비더미의 중심부에서 매일 측정하였다. 식물독성실험은 풍건된 시료와 증류수를 1:20 (w/v)으로 혼합하여 환류냉각장치를 이용하여 70℃에서 2시간 환류추출하여 여과지 (No. 41)로 여과하였다. 9㎝여과지 (No. 2)를 깔은 직경 9㎝ petri dish에 5㎖씩 넣고 배추종자를 10개씩 파종하였다. 파종 후 5일 뒤에 발아상태와 유식물의 뿌리길이를 측정하였다. 실험은 3반복으로 실시하였

으며 Germination Index (G.I.)값은 대조구에서 얻어진 수치에 상대적인 수치로 계산하였다. 퇴비화과정중 이화학성 변화는 표 5-8, 식물독성실험에서 얻은 뿌리의 평균길이와 G.I.값은 표 5-9에 제시하였다.

퇴비화 과정중 부숙도를 평가하는데는 이화학적인 방법, 생물학적인 방법, 미생물학적인 방법 등이 이용되고 있다. 그 중 온도의 변화는 퇴비화의 성공을 가름할 수 있는 중요한 척도로 이용된다 (Finstein 등, 1986). 온도변화는 퇴비화되는 물질 특성과 퇴비화 방법에 의해 큰 차이

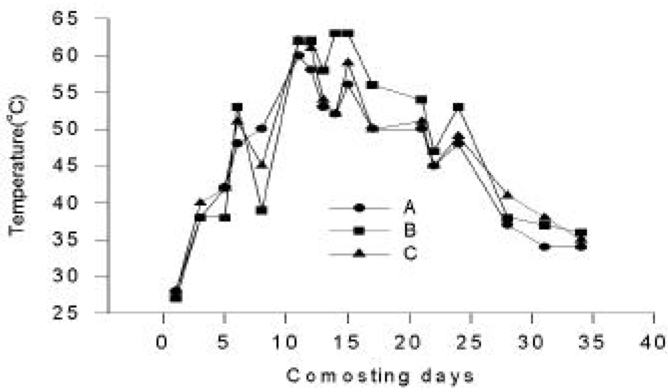
<표 5-8> 퇴비화 과정중 이화학성 변화

처리구	퇴비화 기간	pH (1:5)	EC (dS/m)	T-C	T-N	C/N ratio
				%		
A	1	8.9	61.6	46.2	1.17	39.5
	6	9.06	62.4	45.9	1.18	38.9
	13	9.06	64.0	45.3	1.20	37.8
	20	9.00	66.8	45.0	1.30	34.6
	35	8.97	67.8	44.6	1.37	32.6
B	1	8.74	58.5	46.3	1.22	38.0
	6	8.80	57.9	45.9	1.25	36.7
	13	8.77	59.4	45.2	1.29	35.0
	20	8.75	59.4	44.8	1.40	32.0
	35	8.89	62.3	44.5	1.45	30.7
C	1	8.92	57.5	46.8	1.22	38.4
	6	8.92	58.3	46.3	1.24	37.3
	13	8.80	56.5	45.1	1.32	34.2
	20	8.96	61.3	44.7	1.43	31.3
	35	8.97	63.2	44.3	1.49	29.7

<표 5-9> 퇴비화과정중 G.I.값과 평균 뿌리 길이

퇴비화 기간	A		B		C	
	뿌리길이 (㎝)	G.I.	뿌리길이 (㎝)	G.I.	뿌리길이 (㎝)	G.I.
1	14.4	51	15.5	55	19.8	70
6	12.7	45	12.1	43	16.6	59
13	18.6	66	19.5	69	24.0	85
20	27.4	97	31.6	112	28.8	102
35	29.2	103	33.8	120	30.1	106
Control	28.2	100				

를 보일 수 있다. 이러한 차이에 의해 생기는 온도는 크게 중온성과 고온성으로 나누어 생각할 수 있으며 온도가 상승하는 것은 이분해성 물질이 분해되면서 열이 발생되기 때문인 것으로 60 ℃이상의 고온에서서는 병원성 세균도 사멸될 수 있다고 하였다 (Epstein, 1986). 반면에 방선균, 호기성 세균 등의 유용한 세균들은 증가한다 (de Bertoldi 등, 1983).

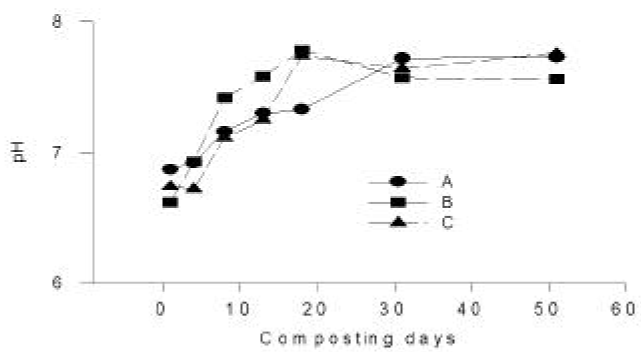


<그림 5-7> 퇴비화 과정중 온도의 변화

호기적인 퇴비화 과정은 산소의 공급량에 따라 크게 달라질 수 있다. Thompson (1984)에 의하면 정체식에서 공기공급을 중단한 후 20분 안에 산

소가 낮은 수준까지 떨어진다고 하였고, Caballero (1984)는 windrow에서 의 도시쓰레기는 뒤집기를 하기전보다 후에 산소의 요구량이 두배가 된다고 하였는데 그 이유는 입자의 깨짐과 미생물이 접촉할 수 있는 면적이 더 많이 노출됨으로써 생긴다. 퇴비화 과정중 뒤집기 후의 온도의 상승은 분명히 이러한 이유에서 생기는 것으로 판단된다. 온도는 퇴비화를 시작한지 3일이 지나면서 60 ℃이상까지 급격히 상승하였으며 15일간 계속 60 ℃ 이상의 고온을 유지하였다. 처리구간의 온도변화에 대한 차이는 나타나지 않았으며, 20일부터 점점 하강하였다. 초기에 온도가 급격히 상승한 것은 혼합물이 축사에서 6개월 이상 정치되여 있어 우분과 톱밥 및 왕겨의 혼합이 잘 이루어졌으며, 왕겨의 혼합이 퇴비더미에 공극을 크게 유지해 줌으로써 통기성을 양호하게 해 주었고 계속적인 뒤집기가 공기공급에 많은 효과를 준 것으로 생각된다.

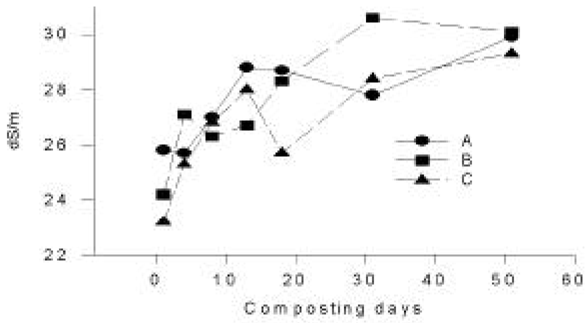
퇴비화과정중 pH 변화는 산을 형성하는 미생물에 의해 이분해성물질이 분해되어 유기산이 형성되면서 감소하고, 단백질의 가수분해에 의한 암모니아의 발생으로 pH가 상승된다 (Viel 등, 1986; Sikora, 1983. Bertoldi, 1983. Poincelot, 1975). 원료 자체가 초기에 pH 8.5이상으로 비교적 높았으며 퇴비화가 진행될수록 pH는 8.5이하로 낮아지지 않았다. 이와 같이 초기의 pH가 높은 것은 축사에 오랫동안 있으면서 뇨의 계속적인 공급과 1차적으로 이분해성물질의 분해가 이루어져 pH가 높아진 것으로 추정되며 퇴비화 과정중 유기산의 생성은 많지 않았다.



<그림 5-8> 퇴비화 과정중 pH의 변화

퇴비화과정중 EC가 높아지는 경향을 보이고 있지만 최초의 EC값에 비해 크게 증가되지 않았다. 원료자체의 EC값이 상당히 높았기 때문에 EC변화에 큰 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다 초기의 EC값이 높은 이유는 뇨의 계속적인 축적에 의한 결과로 추정된다. EC에 영향을 미치는 인자들은 물질이 분해되면서 유리되기 때문에 유기물의 분해정도가 EC를 변화시키는데 영향을 미칠 것으로 생각된다.

유기물의 분해는 호기적 조건하에서 유기물이 미생물의 물질대사에 의해 생물학적으로 안정된 잔여 유기물과 물, 이산화탄소로 산화되면서 열이 발생하는 반응이라 할 수 있다. 따라서 퇴비화 과정 중 유기물의 분해는 곧 탄소의 감소를 의미하는데 온도가 고온으로 형성되는 시기에 탄소의 감소율이 두드러진다.

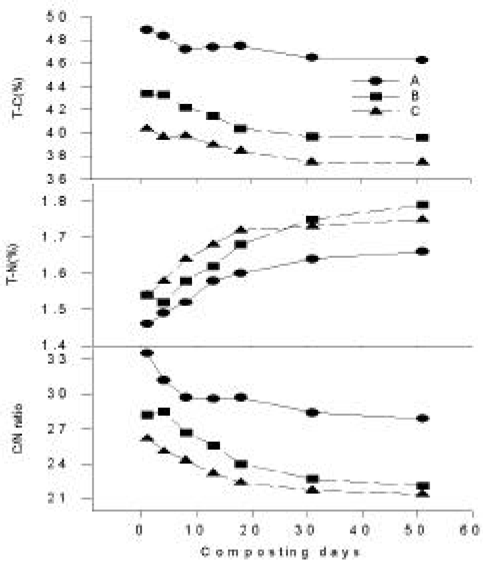


<그림 5-9> 퇴비화 과정중 EC의 변화

처리구간의 탄소의 감소율은 A, B, C처리구가 각각 1.6, 1.8, 2.5 %로 C 처리구가 가장 많은 감소율을 보이고 있으나, 전반적으로 탄소 감소율은 큰 편은 아니었다.

질소량은 퇴비화 과정중 점점 증가하는 경향을 보이고 있으며 질소의 증가율도 C처리구가 가장 많았으며 A처리구가 가장 적었다. 질소원이 풍부한 퇴비는 작물의 영양원으로 바람직하다. 퇴비화과정 중 C/N율은 부숙도를 평가하는데 많이 이용되었으며 퇴비화의 적정 C/N율은 25 35로 많은

연구자들에 의해 알려졌다. 원료에 대한 적정 C/N율의 중요성은 C/N율이 너무 낮거나 높으면 퇴비화가 느리게 진행되거나 제대로 퇴비화가 이루어지지 않고 중단되는 결과를 초래하기 때문이다. 우분 자체의 C/N율이 20이하로 낮은 편인데, 혼합물의 C/N율이 38 40으로 높은 것은 C/N율이 매우 높은 왕겨나 톱밥이 우분에 비해 상대적으로 많은 양이 혼합되어 있기 때문이다. 축사에서 이미 혼합되어 있는 퇴비원료는 함수율이 적정수준이었기 때문에 다른 수분조절제의 첨가가 없어 C/N의 보정이 이루워지지 않았다. 초기의 C/N율에 대한 최종 C/N율을 비교해보면 탄소의 감소가 크고 질소증가가 컸던 C처리구가 22.7%로 가장 큰 감소를 보였고 B, C처리구는 각각 19.2, 17.5였다. 최종 C/N율이 비교적 높기 때문에 토양에 시용했을 때 초기에 토양중 질소의 부족이 일어날 수 있다.



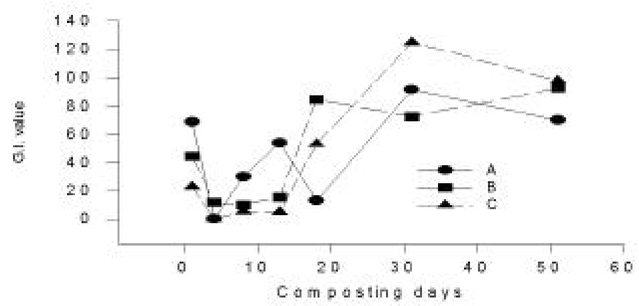
<그림 5-10> 퇴비화 과정중 T-C, T-N 와 C/N율의 변화

부숙도를 평가하는데 여러 가지 항목들이 유용하게 사용되고 있는데 유식물에 대한 식물독성실험은 매우 유용한 방법중의 하나로 인식되었다. 일

본의 경우에는 시판되는 퇴비의 부숙도를 평가하는데 식물독성항목이 포함되어 있다. 식물독성은 중금속, 다른 무기원소, 수용성 염류 그리고 유기화합물로부터 기인된다. 그 중 유기화합물은 부족한 통기나 과다한 수분함량 때문에 생기는 혐기적인 상태에서 많이 생기게 되는데 그 때 생성되는 Acetic, propionic, 및 butyric acids등과 같은 작은 분자량의 유기산들이다.

장 등 (1995)이 실험한 결과에서 보면 유기산이 식물의 뿌리에 심한 장애를 일으키는 주 원인이라고 설명하고 있다. 앞에서 설명한 실험방법에 의해 배추의 G.I.값을 측정하였을 때 퇴비화 기간내내 상당히 낮은 값을 나타냈기 때문에 추출액을 두배로 희석하여 G.I.값의 결과를 그림 5-11에 나타냈다. 이렇게 추출액이 G.I.값을 낮추는 이유는 EC값이 다른 유기성폐기물에 비해 높았던데 원인이 있었을 것으로 보이며 유기산에 의한 독성은 크지 않은 것으로 추정된다.

그림 5-11에서 G.I.값의 변화는 처리구간의 뚜렷한 차이를 보이고 있지 않다. Zucconi 등(1981)은 G.I값이 80이상이면 식물에 독성이 없다고 하였기 때문에 전 처리구에서 발효기간이 20일 이상이면 식물에 영향을 크게 주지 않을 것으로 판단된다. 20일전의 G.I.값도 크게 낮지 않아서 2배 희석액에서 유기산의 존재량은 크지 않을 것으로 생각된다.



<그림 5-11> 퇴비화 과정중 G.I.값의 변화

나) 작물시험

실험실에서 제조한 퇴비를 현장에 적용하고, 퇴비제조에 첨가하는 다양한 미생물들의 효과를 검정하였던 2차년도 및 3차년도 전반기에 실시한 소규모 현장실험을 토대로 하여 하우스 내에서 대규모 작물 재배실험을 수행하고, 시료처리에 따른 작물의 생육 및 수확에 대하여 조사하였다. 퇴비제조를 위해서는 3차년도 전반기에 수행한 실험 결과에서 대조군에 비해 17 % 이상의 총수확량 증가를 보여준 *Eacillus* 2종과 *Lactobacillus*를 첨가해 준 퇴비를 기준으로 하였다 (표 5-10).

<표 5-10) 퇴비 제조에 사용된 미생물제제의 조성

구분	처 리 내 용
A	우분 + 톱밥
B	우분 + 톱밥 + 쌀겨 + *Eacillus* 2종 + *Lactobacillus*
C	우분 + 톱밥 + 쌀겨 + *Eacillus* 2종 + *Lactobacillus* + 광합성세균
D	기존 농가 처리구

재배실험은 공주군 우성면에 위치한 하우스에서 실시하였으며, 재배작물은 여름오이인 가시오이를 공시작물로 하여 7월 5일에 정식하여 9월 7일까지 재배하였다. 대규모 퇴비는 우성면에 설치한 퇴비장을 이용하여 각 처리구당 1.8 톤 규모로 제조하였으며 1 주일에 3회 정도 뒤집기를 실시하여 전체적으로 고르게 부숙이 진행되도록 하였다, 오이재배에 이용된 면적은 각 처리구 당 약 260 ㎡이었고, 퇴비는 처리구당 5.8 Kg/㎡씩 사용하였다.

시료처리에 따른 오이 성장은 각 그룹에서 30주를 선별하고 50 ㎝, 75 ㎝, 100 ㎝, 125 ㎝, 159 ㎝에 도달하는 주수를 일정 간격으로 각각 관찰하였다 (표 5-11 참조). 대조군과 D 처리구에서 보면, 경경 및 키의 성장이 큰 차이를 보이지 않았으며, 각 관찰시기에서 측정 대상주중 40 - 50 % 전후의 주들이 해당 높이에 도달한 것을 알 수 있다. 그러나 B 처리구의 경우 초기에는 성장률이 대조군에 비해 10 % 가량 증가하였지만 중기 이후에는 20 % 이상의 증가률이 관찰되었다. 그리고 C 처리구의 경우에는 17 %와 30 % 정도로 B 처리구에 비해 더욱 현저한 성장률 증가가 관찰되었다. 또한 오이가 150 ㎝ 높이까지 성장한 23일째 해당 주들에 적심을 실시하게 되는데, 대조군과 D 처리구의 경우 40 % 전후의 작물에 적심을 실시한 반면 B 처리구는 53 %, C 처리구의 경우에는 70 %의 작물에 적심을 실시하였

다.

<표 5-11> 퇴비 시료에 따른 오이의 성장률

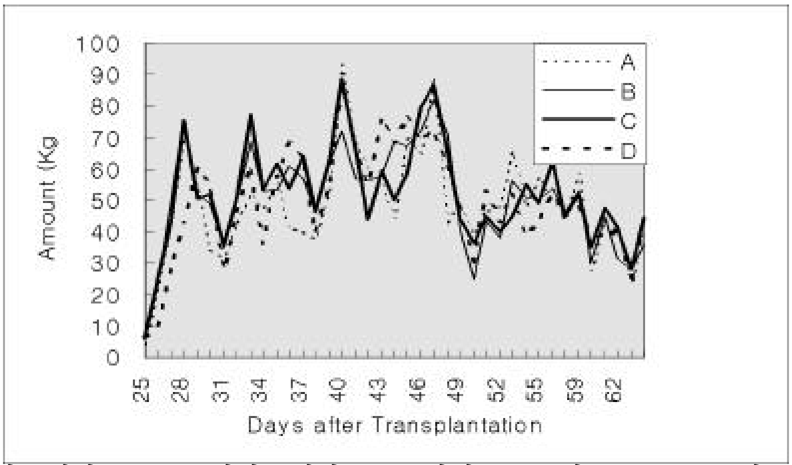
구 분		성			장	
		50 ㎝ (13일)	75 ㎝ (17일)	100 ㎝ (19일)	125 ㎝ (21일)	150 ㎝ (23일)
A	키*	13 (43%)	10 (33%)	16 (53%)	13 (43%)	12 (40%)
	경경(㎝)	5.4	5.8	6.8	7.4	8.1
B	키	15 (50%)	13 (43%)	17 (57%)	18 (60%)	16 (53%)
	경경(㎝)	5.5	6.0	6.8	7.5	8.2
C	키	18 (60%)	15 (50%)	26 (87%)	22 (73%)	21 (70%)
	경경(㎝)	5.7	6.2	7.1	7.7	8.4
D	키	13 (43%)	10 (33%)	17 (57%)	14 (47%)	13 (43%)
	경경(㎝)	5.3	5.8	6.8	7.3	7.9

* 키 : 선별된 30주중 해당 키에 도달한 주수 및 백분율

위의 결과와 같이 오이의 성장이 미생물제제 첨가에 의해 증가하였을 뿐만 아니라, B, C 처리구에서 작물의 생장지표라고 할 수 있는 발화시기가 2-3일 정도 빠르게 나타났으며, 꽃 수의 증가속도도 더 큰 것으로 관찰되었다. 그러나 D 처리구에서는 대조군과 유의성있는 차이가 관찰되지 않았다. 따라서 미생물제제를 이용한 퇴비를 이용하면 작물의 성장과 생장을 촉진시켜, 작물의 재배기간을 단축하게 할 수 있을 뿐만 아니라, 과실의 출하시기를 앞당길 수 있는 잇점을 가져다 줄 수 있다 (그림 5-12).

<그림 5-12> 시기에 따른 수확량의 추이 변화

각 처리구에서 오이의 총수확량을 보면 대조군에 비해 B 처리구에서 약 7 %, C 처리구에서는 12.4 % 정도로 크게 증가한 반면, D 처리구에서는 1 % 정도의 차이가 관찰되었다. 과실의 모양이나 색깔에 있어서는 각 처리구에서 차이를 보이지 않았다. 평균 과중의 증가을 살펴보면 대조군에 비해



B 처리구에서 6 %, C 처리구에서 7 %, 과장은 3 %와 4 %로, 그리고 과폭은 2 %와 3 % 정도로 각각 증가한 것으로 관찰되어 미생물제제를 이용한 퇴비가 과실의 질을 약간 증가시킨 것을 알 수 있다 (표 6-12).

<표 5-12> 총수확량 및 과질의 비교

구 분	총수확량 (Kg)	과 중 (g/과)	과 장 (㎝)	과 폭 (㎝)
A	1895	24.4	34.2	12.8
B	2024	25.9	35.1	13.0
C	2130	26.2	35.5	13.2
D	1923	25.0	34.4	12.9

이상의 결과를 종합하면, 미생물제제를 이용한 퇴비는 대조군에 비해 오이의 성장을 증가시킬 뿐 아니라, 발화개시일을 단축시키고, 총수확량을 증가시켰다. *Bacillus*와 *Lactobacillus*를 처리한 B 처리구의 경우에 기존 농가처리구나 미생물제제를 혼합하지 않은 퇴비에 비해 유의성 있는 결과를 보여주었으며, 두 종류의 미생물과 광합성세균을 같이 처리하여 퇴비를 제조할 경우 (C 처리구)에서 보다 확실한 효과들이 관찰되었다.

2) 돈분 퇴비화에의 적용시험

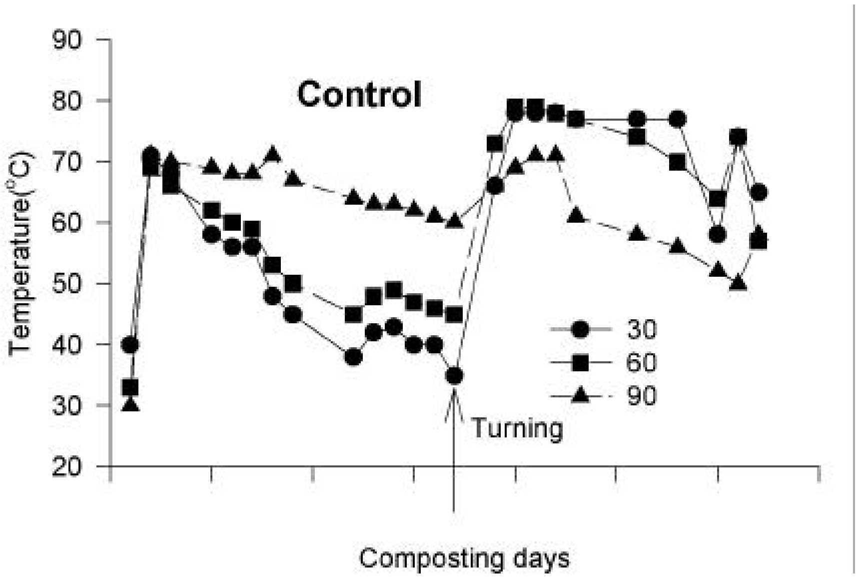
본 연구에서 개발된 미생물제제의 돈분 퇴비화에의 적용 가능성을 조사

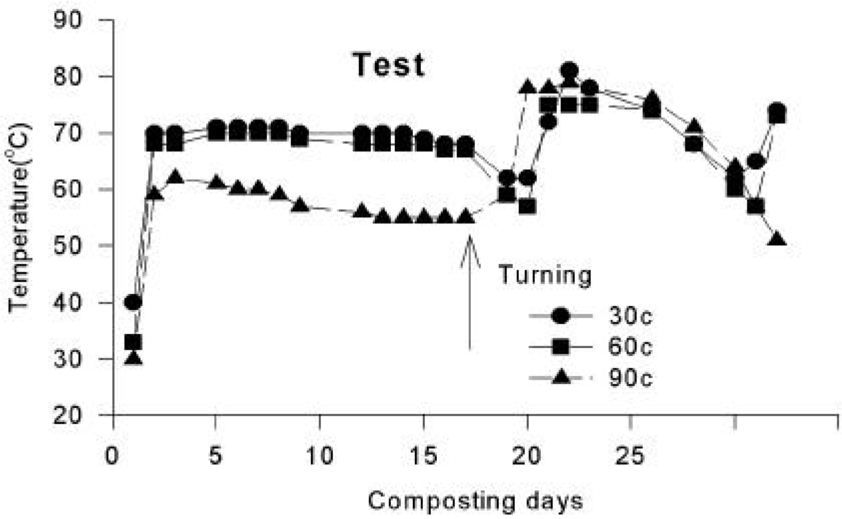
하기 위한 퇴비화 실험은 지금까지 수행한 퇴비화 실험중에 가장 큰 규모(처리구 당 20 톤)로 실시하였으며, 논산시 소재 축협퇴비공장에서 직접 실시하였다. 퇴비의 주원료는 돈분, 수분조절제로 톱밥을 이용하였다. 돈분자체의 함수율이 85 %이상이었기 때문에 함수율이 낮은 톱밥을 혼합시킴으로써 수분조건을 65 %로 조정하여 실시하였다. 처리구는 미생물처리구와 대조구를 설정하였다.

온도변화를 살펴보기 위해 퇴비 표면으로부터 30, 60, 90 ㎝로 구분하여 온도를 측정하였는데 대조구의 온도변화는 퇴비화 2일째 모든 부분에서 70 ℃로 상승하였다 그 후 90 ㎝층은 뒤집기 전까지 60 ℃이상의 온도를 유지하였으나 30과 60 ㎝층은 온도가 급격히 하강하여 뒤집기전까지 50 ℃이하의 온도를 유지하였다. 이와 같이 온도변화가 큰 차이를 보이는 이유는 계속적인 공기공급과 품온유지가 90 ㎝층보다 30, 60 ㎝층이 보다 어려웠던 것으로 판단된다. 뒤집기 이후에는 30과 60 ㎝층의 온도가 다시 급격히 상승하였다가 점점 하강하는 경향을 보이고 있었으며 90 ㎝층은 뒤집기 이후에 약간의 온도상승이 보였지만 큰 차이를 보이지 않았다.

미생물처리구도 마찬가지로 부분별로 온도변화를 조사하였는데 퇴비화 2일째 30과 60 ㎝층은 70 ℃까지 상승하였다가 그 온도를 뒤집기 전까지 계속 유지하였으며 90 ㎝층은 60 ℃부근에서 유지하였다. 이러한 온도변화는 대조구와 상당히 다른 경향이었다. 이와 같이 온도분포가 대조구와 달리 큰 차이를 보이지 않음으로써 균일화된 퇴비를 얻을 수 있을 것이다. 뒤집기 이후에 온도의 상승은 퇴비화과정중에 충분한 공기공급이 어려웠고 뒤집기로 인하여 밀착된 퇴비더미가 팽창되어 뒤집기 전보다 수월하게 공기공급이 이루어져 계속적으로 활발한 분해가 이루어진 것으로 판단된다.

<그림 5-13> 퇴비화 과정중 대조구의 표면으로부터 30, 60, 90 ㎝층의 온도 변화





<그림 5-14> **퇴비화 과정중 미생물처리구의 표면으로부터** 30, 60, 90 ㎝**층의 온도변화**.

퇴비화 과정중 화학적 변화는 표 5-13**에 제시되었다**. pH**의 변화는 처리**

구간의 뚜렷한 차이를 보이고 있지 않았고 pH가 두드러지게 낮아지는 경우는 없었던 것으로 보아 혐기적인 조건은 많지 않았으며 이분해성물질은 미생물에 의해 쉽게 분해된 것으로 판단된다. EC값은 초기에 34 35 dS/m였으며 퇴비화가 진행될수록 점점 증가하였으며 퇴비화과정중 점점 증가하는 경향을 보였다.

탄소의 변화를 살펴보면 원료의 탄소함량은 51 %정도로 높았는데 이것은 수분조절제로 톱밥을 혼합하였기 때문이며 돈분자체의 질소함량이 적어지는 결과를 초래하였다. 대조구에서는 퇴비화 27일째까지 2.7 %가 미생물처리구에서는 2.3 %가 감소하였다. 비교적 난분해성물질인 톱밥에 의해 감소율이 크지 않았고 온도가 고온에서 계속 진행될 것으로 보아 더 많은 탄소의 감소가 생길 것이다.

질소는 퇴비화가 진행될수록 점점 증가하는 경향을 보였다. 탄소의 감소가 크지 않았기 때문에 상대적으로 증가율이 크지 않았으며 증가량은 대조구, 미생물처리구 각각 0.9, 0.6 %이었다. C/N율의 경우에도 마찬가지로 탄소의 감소율과 질소의 증가율이 큰 대조구가 미생물처리구에 비해 약간 더 크게 감소하였으나 대조구와 미생물처리구간의 차이는 크지 않았다.

<표 5-13> 퇴비화 과정중 화학성 변화

처리구	퇴비화 기간	pH (1:5)	EC (dS/m)	T-C	T-N	C/N ratio
				%		
Control	1	7.34	34.0	51.8	1.65	31.4
	5	7.27	33.7	51.1	1.68	30.4
	8	7.09	34.7	49.9	1.65	30.2
	12	7.13	35.6	50.5	1.63	31.0
	19	7.25	36.3	49.6	1.63	30.4
	27	7.24	36.9	49.1	1.74	28.2
Test	1	7.27	35.6	51.5	1.64	31.4
	5	7.36	34.3	51.9	1.56	33.2
	8	6.43	35.0	51.0	1.62	31.5
	12	7.24	36.9	51.7	1.69	30.5
	19	7.50	36.0	49.9	1.66	30.0
	27	7.46	39.4	49.2	1.70	29.0

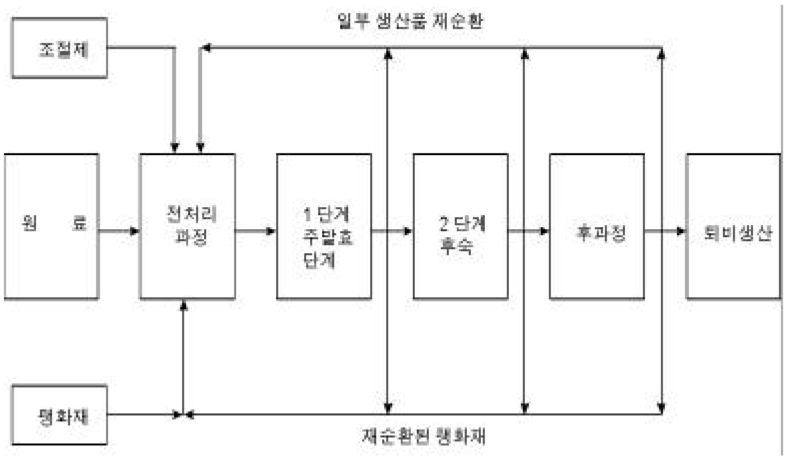
제 2 절 퇴비생산공정 및 생산설비 모형수립

1. 퇴비화 시설 공정

일반화된 퇴비화 시스템의 개요도를 그림 5-16에 제시하였다. 원료나 기질은 개요도의 왼쪽으로부터 투입이 된다. 엄격히 말해서 시스템에 투입되는 어떤 물질이라도 과정에 원료로 고려되어진다.

가. 원료의 조제

우분과 같이 질소원이 풍부한 물질들은 상대적으로 C/N율이 20이하로 낮기 때문에 탄소원이 풍부한 조절제가 필요하다. 현재 우리나라에서는 탄소원의 공급이나 수분조절제로 많이 이용되고 있는 것은 톱밥이다. 톱밥은 탄소원의 공급뿐만 아니라 수분조절제로서 매우 유익하게 사용되고 있다. 그러나 톱밥은 여러 가지 용도로 사용되고 있기 때문에 수급의 어려움이 많이 따르고 단가도 많이 상승되어 있다. 톱밥을 대체할 수 있는 새로운 조절제의 필요성이 불가피한 실정이다. 원료의 조제는 낮은 영양원이나 수분 부족에 의해 생기는 속도의 제한을 피하기 위해 미생물의 접종, 또는 양분과 물의 공급 공극개선을 도모하도록 조정되어야 한다. 그러기 위해서는 1) 퇴비의 재순환과 다른 물질과의 혼합, 2) 유기 또는 무기 조절제의 첨가, 3) 팽화재의 첨가, 4) 이들의 적정한 조합 등이 필요하다.



<그림 5-16> 원료와 조절제 및 팽화재의 투입을 나타내는 퇴비화를 위한 일반적인 과정의 개요도.

나. 처리 단계

그림 5-16과 같이 주발효 단계와 후숙단계로 나뉘어진다. 주발효 단계는 윈드로식, 강제송풍식, 교반식이 있고 높은 산소 흡수율, 호열성 온도, 높은 생물학적 분해성 휘발성 고형물의 감소, 더 높은 냄새 잠재성등이 특징적이다. 후숙단계는 송풍이나 송풍이 없는 시설, 윈드로, 또는 밀폐된 반응기가 사용되고 낮은 온도, 감소된 산소 흡수율, 낮은 냄새 생성의 잠재성 등이 특징이다.

다. 퇴비화 처리방식의 종류

퇴비화 처리의 종류에는 크게 반응기를 이용하는 방법과 이용하지 않은 방법으로 분류하고 반응기를 이용하는 것은 기계적인, 밀폐된, 또는 용기내라고 불리우며 반응기를 이용하지 않는 것은 개방식이라고 불리운다.

1) Nonreactor Processs

Nonreactor system은 Agitated solids bed을 계속하는 것들과 Static bed을 사용하는 것들로 나누어진다. Agitated solids bed은 원료 혼합물이 퇴비화과정중에 여러 방법에 의해 분해되고 깨어지는 것을 의미한다.

가) Windrow Process

Windrow 시스템은 Nonreator agitated solids bed system중 가장 인기있는 것이다. 혼합된 물질이 줄로 놓여있고 기계로 보통 주기적으로 뒤집기를 한다. 물질의 특성과 뒤집기의 기계에 따라 물질의 높이, 넓이 또는 형태가 매우 다양하다. 산소는 근본적으로 Windrow에서 뜨거운 가스의 부력의 결과 자연적인 통기성에 의해, 낮은 부위에는 뒤집기 동안에 가스교환에 의해 공급된다. 강제송풍의 Windrow시스템에서 산소는 송풍기에서 생기는 송풍에 의해 windrow에 이동하게 된다.

나) Static Pile Process

Aerated static pile process는 Nonreator, static solids bed system의 주요한 예이다. 이 시스템은 슬러지 케이크와 같이 젖은 물질을 위하여 미국에서 널리 이용되고 있다. 이런 물질들은 목편과 같은 팽화재와 혼합되고 대규모로 행하여진다. 팽화재는 원료의 구조적인 안정성을 제공하고 주기적인 교반이 필요없이 공극이 유지되어진다.

2) Reactor Processes

Reactor processes는 Vertical flow reactor이나 Horizontal flow reactor와 같이 고형물의 흐름의 방법에 따라 우선 분류할 수 있다. Horizontal flow는 고형물의 흐름을 좋게 하기 위해 반응기는 수평보다 약간 기울어져 있다.

가) Vertical Flow Processes

Vertical flow processes는 반응기에 배드 상태에 따라 제한되어진다. 몇몇 시스템은 반응기 아래로 이동하는 동안 고형물의 교반이 이루어지고 이것을 Moving agitated bed reators라고 부른다. 이들은 계속적으로 또는 간헐적으로 물질이 투입된다. 다른 시스템에서는 퇴비화혼합물이 대부분의 부피를 차지하고 배드내에서 이동하는 동안 교반이 이루어지지 않는다. 이들은 Moving packed bed reators라 불리우고 계속적으로 또는 간헐적으로 물질이 투입된다.

나) Horizontal and Inclined Flow Processes

Horizontal flow processes는 회전하는 드럼을 사용하는 것, 교반방법과 구조가 다양한 Bin구조를 사용하는 것, static solids bed이 아닌 bin 형태의 구조를 사용하는 것으로 크게 나눈다. 이러한 시스템은 도시고형폐기물(MSW), 농업폐기물과 하수슬러지를 포함한 여러 가지 물질에 이용되고 있다.

2. 생산 설비의 모형 수립

퇴비의 생산설비은 처리해야 할 조건에 의해 크게 달라질 수 있다. 발생량에 따라 현재 우리나라에서 주로 행하여 지는 교반식이나 정체식의 설비를 조정할 수 있다. 그러나 일반 농가에서 발생되는 적은 량을 처리하기 위해서는 교반식보다는 소규모의 장치, 비용과 면적으로 가능한 정체식이 바람직할 것으로 판단된다. 대량의 처리는 정체식의 규모를 크게 할 수 있고 일반적으로 3ton/1일 처리 가능한 교반식을 설치함으로써 발생되는 유기성 폐자원을 처리할 수 있을 것이다. 우리나라에서 많이 이용되는 Nonreacter, agitated solids bed system중의 Aerated windrow(교반식)와 Aerated static pile process(정체식)을 중심으로 설비모형을 수립하여 설명하고자 한다.

가. 교반식

대량처리를 주 목적으로 하며 공동축사나 대규모의 축산단지에서 발생되는 분을 처리하거나 소규모의 축사를 소유하고 있는 농가에서 공동으로 처리하고자 할 때 한 장소로 집결시켜 처리하는데 적당하다. 또한 설비는 대부분이 기계로 작동된다. 생산 설비로는 원료 배합장, 주발효 시설, 후숙 시설, 포장시설, 저장 시설이 갖추어져야 한다.

1) 원료배합장

일일 처리 가능한 규모의 고려와 원료를 배합하는데 지장을 받지 않을 정도의 충분한 공간이 필요하다. 또한 혼합원료가 10일 정도 적재할 수 있는 공간도 요구된다.

2) 주발효 시설

시설은 Aerated windrow를 이용하였으며 길이 50m × 높이 1.5m × 폭 3m 정도이며 1일 전진속도는 1.7m/day 정도 유지하도록 한다. 발효기간은 30일 정도 소요되도록 하며 송풍기의 송기량 조절 및 시간조절장치 부착이 필요하다.

3) 후발효 시설

시설은 Nonreactor, static solids bed system으로 주발효를 마친 물질을 1달 정도 후발효시킬 수 있는 규모가 필요하며 송풍장치는 주발효시설과 동일한 방식으로 한다.

4) 포장시설 및 저장시설

포장시설능력은 후발효시설과 가까운 곳에 위치하여 생산품을 필요에 따라 처리할 수 있어야 할 것이며 포장시설의 크기는 생산량의 최소량으로 하여도 무방하다. 저장시설은 포장된 생산품을 저장할 수 있는 충분한 공간을 필요로 한다.

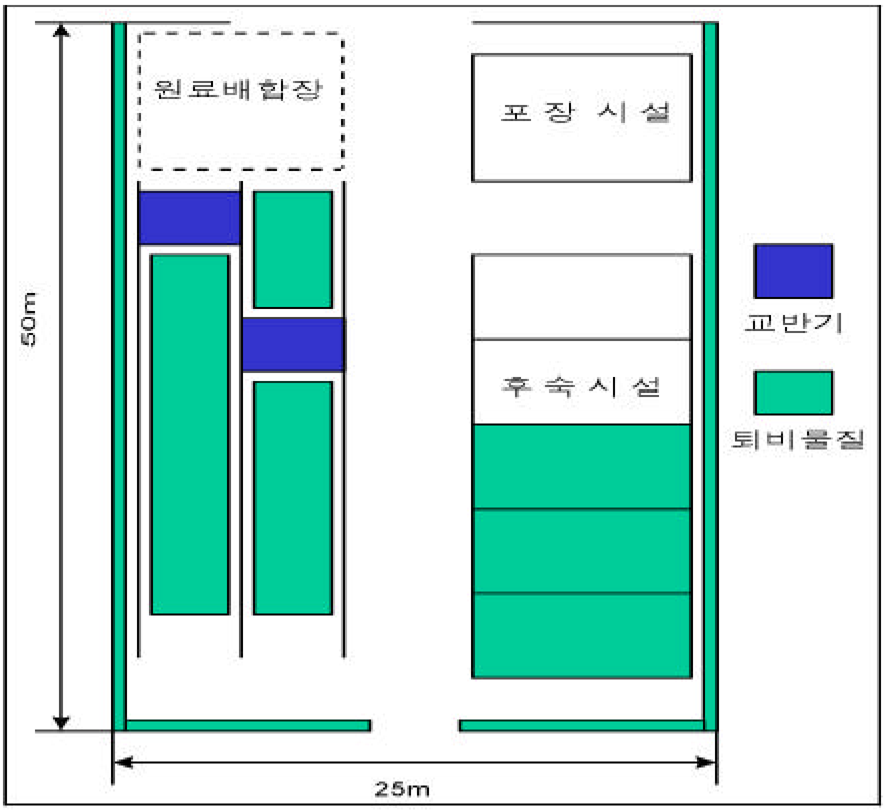
퇴비화 공정은 여러 단계를 거치게 된다. 첫 번째 과정은 생산되는 원료의 수집과 운반인데, 원료에 따라 다르지만, 특히, 음식물찌꺼기와 같이 부패하기 쉬운 물질은 신속하게 처리되어야 해야 한다. 두 번째 과정은 원료를 퇴비화가 잘 이루워지도록 함수율 및 C/N비를 조정하는 것이다. 보통 함수율은 55 65%가 적절하며, C/N비는 25 35가 적당하다. 원료의 함수율이 많을 경우 수분조절제로 퇴비제품을 이용하거나 톱밥을 이용하는 경우가 많으며, 원료에 따라 Bulking agent를 투입하는 경우도 있다. 그리고

이들 물질들을 잘 혼합하여 퇴비원료 전체가 균일하게 이루어지도록 해야 한다.

이렇게 전처리된 원료는 세 번째 과정인 주발효 단계를 거치게 된다. 여기에서는 계속적인 공기의 공급과 뒤집기 및 수분보정이 이루어져야 하며, 충분한 시간이 요구된다. 네 번재 과정은 후숙단계인데, 여기서도 주발효 단계와 마찬가지로 실행되어야 한다. 최종적으로 저장과 포장이 이루어지면 퇴비완제품이 생산되는 것이다. 부수적으로 퇴비화과정중 발생되는 악취에 대해서도 대책을 모색해야 한다.

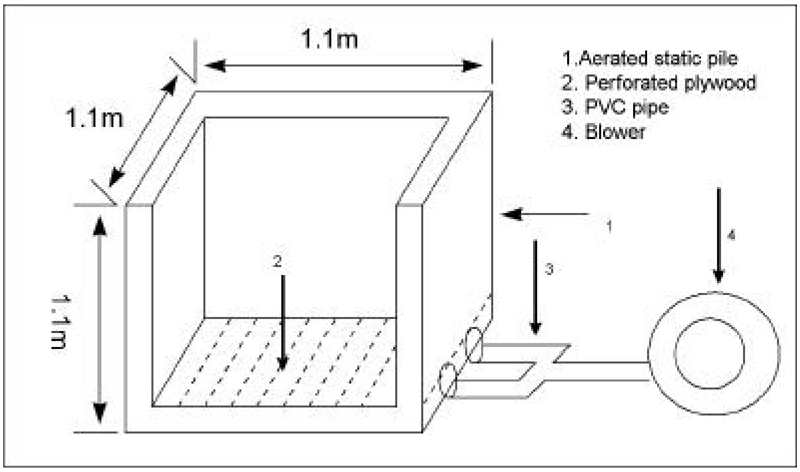
나. 정체식

소규모의 처리를 목적으로 개인농가에서 사용이 가능하며 처리량 규모에 따라 설비하는 것이 바람직하다. 1 2인이 직접 퇴비원료를 부재료와 혼합할 수 있으며 간헐적인 뒤집기도 가능하도록 모형을 수립할 수 있다.



<그림 5-17> **교반식 퇴비생산 공장의 단면도.**

원료배합은 원료량이 많지 않기 때문에 삽과 같은 간단한 장비로 직접 부재료와 혼합이 가능하며 배합면적은 4 5**평 정도면 적당하다. 원료의 배합은 수분함량이** 65 %**이상 또는** 55 %**이하일 경우에는 퇴비화가 제대로 이루어지지 않기 때문에 적당한 함수율을 유지하도록 해야 한다. 정체식 규모는 위 그림과 같이 용적이** 1.25㎥(**높이** 1.1m× **길이** 1.1m × **너미** 1.1m) **의 크기에 공기공급은** 500㎥/Hr**의 송풍기로 송풍하면 공기공급이 충분히 가능하며 온도를 주기적으로 측정하여 공기공급을 하는 것이 바람직하다.**



<그림 5-18> **강제송풍 정체식 모형도**

뒤집기는 주기적으로 실시할수록 좋지만 노동력이 부족할 경우에는 수분이 45 %이하로 감소하는 시기에 꼭 뒤집기를 실시하여야 한다. 원료량에 정체식의 규모를 크게할 수 있으며 이보다 작은 규모는 가능하겠지만 오히려 역효과를 초래할 수 있다. 또한 위에서 제시한 규모는 필요에 따라 2개 이상 만들어 이용하면 매우 효과적일 것이다.

제 3 절 미생물제제 생산의 사업성 검토

1. 생산시설비 및 원재료비 산출

본 과제를 수행하여 얻어진 사료첨가용 및 퇴비제조용 미생물제제의 생산방법을 토대로 미생물제제를 생산할 경우의 사업성을 검토하였다. 우선 사료첨가용 및 퇴비제조용 미생물제제의 생산을 위해 기본적으로 소요되는 제반 실험시설비 및 예산을 표 5-14에서와 같이 조사하였다.

최소한의 비용으로 경제적인 미생물제제 생산을 위하여 간이발효조를 비롯한 여러 설비들을 독창적으로 고안하여 제작하였다. 본 실험시설은 미

<표 5-14> 미생물제제 생산시설비 및 소요 예산

용 도	설 비 명	소요경비 (천원)
균주의 종균배양 및 기본설비 * 사료첨가용 3 균주 * 퇴비제조용 3 균주	무균대 멸균기 진탕배양기 2 대 밸런스 pH 측정기 현미경 마그네틱 교반기 항온기/증류수제조기 외	3,500 4,000 4,000 1,000 800 2,000 600 1,800
본 배양	간이발효조 (20 L x 10조) 에어콤프레서 2 대	300 1,500
후발효(중종)배지와 혼합 * 질석 및 쌀겨	리본혼합기 (ribbon mixer) Tray (플라스틱) 100 개	3,700 100
후발효 * 항온항습 필요 * 미생물 수 증강 * 건조 (수분함량 20 %)	항온실 (4평 규모)	5,000
분쇄	중형분쇄기	2,500
포장 및 출하	포장실링기	2,500
제제보관	저온실 또는 대형냉장고	6,000
균체수득 (사료첨가용 제제 생산)	원심분리기 냉동건조기	10,000 35,000
계		84,300

생물제제에 사용되는 미생물의 종균배양, 본 배양, 후발효 과정 및 제품 출하에 기본적으로 필요한 것으로서, 월 140 톤 규모의 퇴비제조에 필요한 미생물제제 생산과 월 송아지 700두가 90일간 소요하는 사료첨가용 미생물 제제의 생산을 기준으로 그 규모를 설정하여 산출한 것이다.

본 시설을 갖추는데 필요한 실험 및 작업공간은 총 40 평 규모 이상으로 추정되며, 외곽시설에 소용되는 예산은 산정하지 않았다. 퇴비제조용 미생물제제와는 달리 사료첨가용 미생물의 제제화에는 제품의 안전성을 고

려하여 동결건조법을 고려하였으며, 이 경우 대형 원심분리기 및 동결건조기 구입에 45,000천원 이상의 예산이 더 필요하여 총 소요액은 85,000천원 정도가 예상된다.

위와 같은 시설을 이용하여 각각의 미생물제제 생산 원재료비를 살펴보면 다음 표 5-14과 같다. 우선 퇴비제조용 미생물제제의 경우에 우분 1

<표 5-15> 미생물제제의 추정 생산비

구 분	산 출 근 거	금 액
퇴비 제조용 미생물 제제*	○ 미생물제제 10 kg 제조에 필요한 원재료비	
	1. 배양액 7 L :	
	기질비 150원/L x 7	1,050원
	2. 질석 1.75 kg :	
	1,000원/kg x 1.75 kg	1,750원
	3. 쌀겨 5.25 kg :	
	100원/kg x 5.25 kg	525원
	○ 부대경비 : 원재료비의 1배	
	2,700 원/180 g x 1	3,325원
	총 생산비	6,650원
사료 첨가용 미생물 제제**	○ 미생물제제 180 g 제조에 필요한 원재료비	
	1. 배양액 1.5 L :	
	기질비 900원/L x 1.5 L	1,350원
	2. Skim milk 180 g :	
	7,500원/kg x 0.18 kg	1,350원
	○ 부대경비 : 원재료비의 2배	
	2,700 원/180 g x 2	5,400원
	총 생산비	8,100원

* 우분 1 톤 당 10 kg 제제 첨가 기준 (우분 1 g당 생균수 10^8 - 10^9)

** 송아지 1두당 2 g/일 씩 90일 첨가 기준 (제제 1 g당 생균수 10^7 - 10^8)

톤당 미생물제제가 10 kg첨가할 때의 기준으로 산정하였다. 이때 미생물제

제의 생균수가 1 그람당 10^{11} - 10^{12} CFU/g 정도이므로 우분 1 그람당 생균수는 10^{8} - 10^{9} CFU/g이 된다. 미생물제제 10 kg을 제조할 경우 배양액 7 L, 질석 1.75 kg, 쌀겨 5.25 kg이 필요하다. 그래서 각각의 항목을 계산해 보면 배양액에 들어가는 기질비가 리터당 150원이 소요되므로 7 L를 배양할 경우에는 1,050 원이 사용되며 질석과 쌀겨의 경우 각각 kg당 1,000원, 100 원이므로 질석은 1,750 원, 쌀겨는 525원의 생산비가 지출된다. 따라서 퇴비제조용 미생물제제 10 kg을 생산하는 데에는 총 3,325원의 원재료비가 산출된다. 이 경우 생산공정이 비교적 단순하므로 생산에 소요되는 기타 경비를 원재료비와 비슷하다고 가정하면 총생산비는 3,325원 x 2 = 6,650원으로 예상된다.

한편 *Lactobacillus* 등의 사료첨가용 미생물제제의 생산은 MRS 배지를 이용하여 배양한 뒤 원심분리하여 건조시킨 균체를 사용하게 된다. 미생물제제를 송아지 한 마리당 매일 2 g 씩 첨가하여 3 개월 (90일)간 사료첨가제로 사용하는 것을 기준으로 생산비를 추정하였다. 3 개월간 필요한 제제의 양은 180 g으로써 이러한 양을 생산하기 위해서는 배양액 1.5 L, skim milk 180 g이 소모된다. 배양액 리터당 900원의 기질재료비가 필요하고, 첨가제로 이용되는 skim milk는 kg당 7,500원이 소요되므로 180 g의 사료첨가용 미생물제제를 생산하기 위해서는 총 2,700원의 생산 원재료비가 추정된다. 이 경우 퇴비제조용 미생물제제에 비하여 생산과정이 다소 복잡하기 때문에 생산에 필요한 제반 부대경비를 원재료비의 2배 정도로 가정하면 총생산비는 2,700원 x 3 = 8,100원이 산출된다.

2. 사업화 방안

본 연구사업에 의해 개발된 퇴비제조용 및 사료첨가용 미생물제제의 현장적용 결과 현지의 농민들이 대단히 만족스러워 하는 결과를 보이고 있으며, 이에 따라 본 미생물제제의 실용화를 위한 방안이 다각적으로 이루어지고 있다. 본 연구를 통하여 개발된 미생물제제의 사업화를 위하여 2가지 방안을 강구하고 있다.

첫 번째 방안으로서는 본 연구개발의 협동연구기관인 공주시 우성농협에 의한 사업화이다. 현장 시범운용에서 효과가 검증된 퇴비의 대량생산 및 사업화를 위해 공주 우성농협 주도하에 여러 가지 방안을 모색중이다. 그러나 미생물제제의 생산에 필수적으로 필요한 전문인력을 자체적으로 확보하지 못할 경우 미생물제제의 생산을 위한 발효 및 formulation 공정은

농협중앙회의 부설기관인 원예연구소의 전문인력을 활용할 수 있도록 중앙회와 협의하는 안을 검토 중에 있다. 한편으로는 본 연구결과를 바탕으로 도출된 생산원가 및 시설투자비 등에 대한 경제성을 검증한 뒤 생산에 따른 유지비 확보가 확실할 경우에는 독자적으로 사업화할 수 있는 방안이 있다. 그러나 유지비 확보가 불확실할 때 단위농협내 동물병원 및 계획 중인 식물병원과 병행하여 미생물제제를 생산할 수 있다. 이때 공장부지는 우성농협내의 공간을 활용하고 현재 운영중인 동물병원의 일부시설을 미생물제제의 생산을 위해 활용할 수 있다. 그 외의 부지확보, 기계설비, 현장 보급문제 등의 구체적인 사업계획을 농협중앙회와 협의중이나, 현재로서는 미생물제제를 이용하는 별도의 퇴비제조 공장 건립은 경제성이 희박한 것으로 판단하고 있다. 따라서 퇴비제조 및 사료첨가용 미생물제제 생산에만 국한하고 이를 개인 또는 작목반 수준에서 소규모로 퇴비를 생산하고 있는 농가 및 축산농가에 보급·판매하는 방안이 검토되고 있다.

두 번째 사업화 방안은 현존하는 환경관련 기업에의 기술이전을 통한 사업화 또는 본 연구개발에 참여하고 있는 연구원에 의한 창업화가 모색되고 있다. 이와 관련하여 이미 본 연구개발품의 기술이전을 희망하는 기업 및 창업 희망자가 있는 실정이다. 이와 관련하여 본 연구개발품은 이미 특허출원을 위한 미생물제제기탁이 이루어진 바 있으며 (KCTC 0407BP 및 KCTC 0408BP), 특허출원 과정이 진행 중이다.

특히 본 연구의 미생물제제의 경우 한우를 대상으로 비육촉진, 축사내 냄새저감 및 우분의 퇴비화를 목적으로 개발되었으나, 본 과제의 현장실사시 보완사항으로 제시되었던 돈분 퇴비공장에의 적용가능성 조사에서도 현장 (논산 축협부설 돈분 퇴비공장) 실무자들이 본 미생물제제의 효용성을 크게 인정할 정도로 효능이 나타나고 있다. 향후 농수산물의 수입개방이 자유화될 경우 보다 경쟁력을 가질 수 있는 가축으로서는 돼지와 닭이 유망하다라는 사실을 감안하여 볼 때 본 사료첨가용 미생물제제의 돼지와 닭에의 적용가능성 및 퇴비제조용 미생물제제의 돈분 및 계분에의 적용가능성에 대한 보다 심도있는 현장 적용 연구가 추가적으로 이루어질 필요가 있다. 이에 대한 실효성이 확인될 경우 고급 농축산물의 생산을 통한 농민의 소득 증가 및 국제 경쟁력 확보에의 기여의 폭이 보다 확장될 수 있다고 판단되며, 본 연구개발품의 사업화 전망은 보다 밝을 것으로 전망된다.

제 6장 참 고 문 헌

Allison, L.E. 1947. Effect of micro-organisms on permeability of soil under prolonged submergence. Soil Sci. 63:439-450.

Andrews, S.A., H. Lee., J.T. Trevors. 1994. Bacterial species in raw and cured compost from a large-scale urban composter. J. Indust. Microbiol. 13:177-182.

Amarasiri, P.A., and S.R. Olsen. 1973. Liming as related to solubility of P and plant growth in an acid tropical soil. Soil Sci. Soc. Am. Pro. 37:716-720.

Azooz, R.H., and M.A. Arshad. 1996. Soil infiltration and hydraulic conductivity under long-term no-tillage and conventional tillage systems. Can. J. Soil. Sci. 143-152.

Bakken, L.R., T. BØrrensen, and A. NjØs. 1987. Effect of soil compaction by tractor on soil structure, denitrification and yield of wheat (*Triticum aestivum*). J. Soil Sci. 38:541-552.

Bartholomew, W.V. 1965. Mineralization and immobilization of nitrogen in the decomposition of plant and animal residues. In Soil Nitrogen (ed. by W.V. Bartholomew, and F.E. Clark). pp. 285-306. Am. Soc. Agron. Madison. Wisconsin.

Bertoldi, M.D. 1986. Compost; Production, Quality and Use. Elsevier applied science, London and New York. pp.35-367.

Bernstein, L. 1975. Effects of salinity and sodicity on plant growth. Ann. Rev. Phytopathol. B:295-312.

Black, C.A. 1976. Method of Soil Analysis. Part 2; Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy.

Bohn, H., B. McNeal, and G.O'Connor. 1979. Soil Chemistry. A Wiley-Interscience Publication. pp 149-286.

Bonazzi, G., L. Valli, and S. Piccinini. 1990. Controlling ammonia emission at composting plants. BioCycle. June. 68-71.

Bouwer, H. 1961. A double tube method for measuring hydraulic conductivity of soil in sites above water table. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 25:334-342.

Brady, N.C. 1980. The Nature and Properties of Soils. Tenth edition. MaCmillan Publishing Company. pp 112.

Bremner, J.M. 1965. Methods of Soil Analysis. 9:1179-1237. (ed. by C.A. Black et al.) Am. Soc. Agron., Inc. Madison.

Caballero, R. 1984. Experience at a windrow composting facility: Los angels countysite, Technology Transfer, U.S.EPA, Municipal Environ. Res., Cincinnati, OH.

Cardenas, R.R. and L.K. Wang. 1989. Evaluation of city refuse compost maturity ; A review. Biological Wastes. 27:115-142.

Carter, L.M., and R.F. Colwick. 1971. Evaluation of tillage systems for cotton production systems. Trans. ASAE 14:1116-1121.

Chang, C.W. and H.E. Dregne. 1955. The effect of exchangeable sodium on soil properties on growth and cation content of alfalfa and cotton. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 19:29-35.

Chang, M.L., and G.W. Thomas. 1983. A suggested mechanism of sulfate adsoption by soil. Soil Sci. Soc. Proc. 27:382-385.

Chanyask, V., A. Katayama, M. Hirai, S. Mori, and H. Kubota. 1983. Effects of compost maturity on growth of komatsuna in neubauer's pot. Soil Sci. Plant Nutr., 29:239 259.

Chen, Y. and Y. Inbar. 1993. Chemical and spectroscopical analysies of organic matter transformations during composting in relation to compost maturity. pp. 551-600. *In* H. A. J. Hoitink and H. M. Keener (ed.), Science and engineering of composting. The Ohio State University.

Chiang, S.C., D.E. Radcliff, W.P. Miller, and K.D.Newman. 1987. Hydraulic conductivity of three southern soils as affected by sodium, electrolyte concentration, and pH. Soil Sci. Soc. Am. J. 51:1293-1299.

Chino, M., S. Kanozawa, T. Mori, M. Araragi, and B. Kanke. 1983. Biochemical studies on composting of municipal sewage sludge mixed with rice hull. Soil. Sci. Plant. Nutr. 29:159-173.

Christiansen, J.E. 1944. Effect of entrapped air upon the permeability of soils. Soil Sci. 58:355-365.

Chung, Y.R., M.H. Chung, S.H. Han, and S.K. Oh. 1995. Changes of microbial activity and physicochemical environment during composting of papermill sludge in a pilot plant. J. of KOWREC 3:79-89.

Chung, Y.R. and H.A.J. Hoitink. 1990. Interactions between thermophilic fungi and *Trichoderma hamatum* in suppression of *Rhizoctonia* damping-off in a bark compost-amended container medium. Phytopathol. 80:73-77.

Danfors, B. 1994. Changes in subsoil porosity caused by heavy vehicles. Soil & Tillage Res., 29:135-144.

de Bertoldi, M., G. Vallini, A, Pera, and F. Zucconi 1982. Comparison of three windrow compost system. BioCycle, 23: 45 50.

Edmeades, D.C.. 1982. Effects of lime on effective cation exchange capacity and exchangeable cations on a range of New Zealand soils. N.Z. J. Agr. Res. 25:27-33.

Enfield, C.G. and R. Ellis, Jr. 1983. The Movement of Phosphorous in Soil. pp.93-107. In Chemical mobility and reactivity in soil systems. D. W. Nelson, Kok. Tanji and D. E. Elrick(ed). Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Am. Spe. Pub. No.11, Am. Soc. Agron, Madison, Wis.

Falcon, M.A., E. Corominas, M.L. Perez, and F. Perestelo. 1987. Aerobic bacterial populations and environmental factors involved in the composting of agricultural and forest of the Cannary Islands. Biological Wastes. 20, 89-99.

Finstein, M.S., F.C. Miller, and P.F. Strom 1986. Monitoring and evaluating composting process performance. Water Pollution Control. 58:272 278.

Finstein, M.S. and M.L. Morris 1975. Microbiology of municipal solid waste composting. Adv. Appl. Microbiol. 19:113-151.

Follett, R.H., L.S. Murphy, and R.L. Donahue. 1981. Fertilizers and soil Amendments. Prentice-Hall, Inc. pp45-48.

Frenkel, H., J.O. Goertzen, and J.D. Rhoades. 1978. Effects of clay type and content, exchangeable sodium percentage, electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity. Soil Sci. Soc. Am. J. 42:32-39.

Friesen, D.K., A. S.R. Juo, and M.H. Miller. 1982. Residual value of lime and leaching of calcium in a kaolinitic Ultiso in the high rainfall tropics. Soil Sci. Soc. Am. J. 46:1184-1189.

Gal, M., L. Arcan, L. Sainberg, and R. Keren. 1984. Effect of exchangeable sodium and phosphogysum on crust structure-scanning electron microscope observations. Soil Sci. Soc. Am. J. 48:872-878.

Gil-sotres, F., M.C. Trasar-Cepeda, C. Ciardi, and M.C. Leiros. 1992. Biochemical characterization of biological activity in very young mine spoils. Biol. Fertil. Soils. 13:25-30.

Gonzalez-Erico, E., E.J. Kamprath, G.C. Naderman, and W.V. Soarse. 1979. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn on an Oxisol of central Brazil. Soil Sci. Soc. Am. J. 43:1155-1158.

Gupta, S.C., R.H. Dowdy, and W.E. Carson. 1977. Hydraulic and thermal properties of a sandy soil as influenced by incorporation of sewage sludge. Soil Sci. Soc. Am. J. 41:601-605.

Hansen, R.C., H.M. Keener, C. Marugg, W.A. Dick, and H.A.J. Hoitink.

1993. Composting of poultry manure. pp. 131-153. *In* H.A.J. Hoitink and H. M. Keener (ed.), Science and engineering of composting. The Chio State University.

Harada, Y. and I. Akio. 1980. The Measurement of The Cation-Exchange Capacity of Composts for The Estimation of the Degree of Maturity. *Soil Sci. Plant Nutri.*, 26(1):127-34.

Harada, Y. and I. Akio. 1981. Maturing process of city refuse compost during piling. *Soil Sci. Plant Nutri.*, 27(3):357 364.

Higston, F.J., R.J. Atkinson, A.M. Posner, and J.P. Quirk. 1967. Specific adsorption of anions. Nature. 215:1459-1461.

Higston, F.J., R.J. Atkinson, A.M. Posner, and J.P. Quirk. 1968. Specific adsorption of anions on geothite. Trans. 9th. Int. Congr. Soil Sci. 1:669-678.

Hillel, D. 1982. Introduction to Soil Physics. Academic Press. pp 92-100, 135-136, 180-181.

Hoyt, P.B. and A.W. Henning. 1982. Soil acidification by fertilizers and longevity of lime applications in the Peace River region. Can. J. Soil Sci. 62: 155-163.

Hoitink, H.A.J. and P.C. Fahy. 1986. Basis for the control of soil borne plant pathogens with composts. Ann. Rev. Phytopathol. 24, 93-114.

Inbar, Y., Y. Hadar and Y. Chen. 1993. Recycling of Cattle Manure: The Composting Process and Characterization of Maturity. *J. Envion. Qual.*, 22:857-863.

Jesen, L.S., D.J. McQueen, and T.G. Shepherd. 1996. Effects of soil compaction on N-mineralization and microbial-C and -N. I. Field measurements. Soil & Tillage Research. 38:175-188.

Kayambo, B., R. Lal, and G.C. Mrema. 1986. Traffic-induced compaction in Mait, Cowpea and Soybean production on a tropical Alfisol after ploughing and no-tillage: Crop Grow. J. Sci. Food Agric. 37:1139-1154.

Kobayashi, M. and S. Kurata 1978. The mass culture and cell utilization of photosynthetic bacteria. Process Biochem. sept. 27-30.

Koster, I.W. 1986. Characterization of the pH-influenced adaptation of methanogenic sludge to ammonia toxicity. J. Chem. Technol. Biotechnol. 36: 445-455.

Kubota, H. and K. Nakasaki. 1991. Accelerated thermophilic composting of garbage. Biocycle. June 66-88.

Langerwerff, J.V., F.S. Nakayama, and M.H. Frere. 1969. Hydraulic conductivity related to porosity and swelling of soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33:3-11.

Lauchli, A., and E. Epstein. 1990. Plant reponses to saline and sodic conditions in Agricultural Salinity Assessment and Management. American Society of Civil Engineers; New York., pp.113-137.

Launa, R.D. 1977. Salinity and nitrogen mineralization in soil. Soil Biol. Biochem. 9:333-336.

Leonard, T.J. 1971. Phenoloxidase activity and fruiting body formation in *Schizophyllum commune*. J. Bacteriol. 106:162-167.

Marsili, A. and P. Servadio. 1996. Compaction effects of rubber or metal-tracked tractor passes on agricultural soils, Soil & Tillage Research 37:37-45.

Mathews, P. J. and D. J. Border. 1990. In alternative uses for sewage slludge, edited by JE Hall.

Maurice V., D. Sayag and L. Andre. 1986. Optiamisation of agriculture industrial wastes management through in-vessel composting. Compost;Production, Quality and use. Directorate- General Science, Research and Development. p 230 237.

Mayers, R.J.K., C.A. Campbell, and K.L. Weier. 1982. Quantitative relationships between net nitrogen mineralization and moisture content in soil. Can. J. Soil Sci. 62:111-124.

Mckinly, V.L. and J.R. Vestal. 1985. Physical and chemical correlates of microbial activity and biomass in composting municipal sewage sludge. Appl. Environ. Microbiol. 50:1395-1403.

McNeal, B.L., and N.T. Cokman. 1966. Effect of solution composition on soil hydraulic conductivity. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 30:308-317.

McNeal, J.D. 1968. Prediction of the effect of mixed-salt solutions on soil hydraulic conductivity. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 32:190-193.

Messick, C.L., M.M. Alley, and L.W. Zelazny. 1984. Movement of calcium and magnesium in Ultisols from dolomitic limestone. Soil Sci. Soc. Am. J.48:1096-1101.

Miller, F.C. 1989. Matric water potential as an ecological determinant in compost, a substrate dense system. Microb. Ecol. 18:59-71.

Miller, G.L. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Annal. Chem. 31:426-428.

Miller, W. R. and R.L. Donahue. 1990. Soils, An introduction to Soils and Plant Growth. Sixth edition. Prentice-Hall International, Inc..

pp 14.

Miller, W.R., R.L. Donahu, and J.U. Miller. 1990. Soils. An introduction to soils and plant growth. Six ed.. Prentice-Hall International, Inc. pp 270-278.

Muljadi, D., P.M. Posner, and J.P. Quirk. 1966. The mechanism of phosphate adsortion by kaolinite, gibsite and pseudoboehmite. I. The isotherms and the effect of pH on adsorption. J. Soil Sci. 17:212-247.

Nakasaki, K., M. Sasaki, M. Shoda, and H. Kubota. 1985. Changes in microbial numbers during thermophilic composting of sewage sludge with reference to CO2 evolution rate. Appl. Environ. Microbiol. 49:37-41.

Naidu, R. and P. Rengasamy. 1993. Ion interaction and constraints to plant nutrition in Australia sodic soils. Aust. J. Soil Res., 31:801-819.

Nannipieri, P., F. Pedrrazzini, P.G. Arcara, and C. Piovanelli. 1979. Changes in amino acids, enzyme activities and biomass during soil microbial growth. Soil Sci. 127:26-34.

Pancholy, S.K. and E.L. Rice. 1973. Soil enzyme in relation to old field succession ; amylase, cellulase, invertase, dehydrogenase, and urease. Soil Science Society of American Proceedings. 37:41-50.

Papadimitrious, E.K. and C. Balis. 1996. Comparative study of parameters to evaluate and monitor the rate of a composting process. Compost Science & Utilization 4:52-61.

Paul, E.A. and F.E. Clark. 1996. Soil biology and biochemistry (2nd ed.), Academy Press, San Diego.

Patel, M.S. and N.T. Sigh. 1981. Changes in bulk density and water intake rate of a coarse textured soil in relation in different levels of compaction. J. Indian Soc. Soil Sci. 29:110-112.

Plushier, J.L. and A.S.R. Juo. 1981. Leaching of fertilizer ions in an Ultisol from the high rainfall tropics; Leaching through undisturbed soil columns. Soil Sci. Soc. Am. J. 45:754-760.

Poincelot, R.P. (1975). The biochemistry and methodology of composting. Comm. Agr. Exp. Sta. Bull. 754. p 38.

Poincelot, R. P. 1974. A scientific examination of the principles and practice of composting. Compost. Sci., 15:24 31.

Pupisky, H., and I. Shainberg. 1979. Salt effects on the hydraulic conductivity of a sandy soil. Soil Sci. Soc. Amer. J. 43:429-433.

Quirk, J.P. and R.K. Schofield. 1955. The effect of electrolyte concentration on soil permeability. J. Soil SCi. 6:163-178.

Rhee, Y.H., Y.C. Hah, and S.W. Hong. 1987 Relative contributions of fungi and bacteria to soil carboxymethylcellulase activity. Soil Biol. Biochem. 19:479-481.

Riffaldi, R., R. Levi-Minzi, A. Pera and M. de Bertoldi. 1986. Evaluation of compost maturity by means of chemical and microbial analyses. Waste Management & Research, 4:387-396.

Sanchez, P.A., and G. Uehara. 1980. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. In The Role of Phosphorus in Agriculture (eds F.E. Khasawner, E.C. Sample, and E.J. Kamprath). Madison. Ammerican Society of Agronomy.

Sasaki, K., F.J. Marquez, N. Naomichi, and S. Nagai 1995. Promotive effect of 5-aminolevulinic acid on the growth and photosynthesis of *Spirulina platensis*. J. Ferment. Bioeng. 79:453-457

Sasaki, K., T. Tanaka, Y. Nishizawa, and M. Hayashi 1990. Production of a hervicide, 5-aminolevulinic acid, by *Rhodobacter sphaeroides* using the effluent of swine waste from an anaerobic digestor. Appl. Microbiol. Biotechnol. 32:727-731.

Sikora, L.J. and M.A. Sowers. 1983. Factors affecting the composting process in proceeding of the international comference on composting of solids wastes and slurries. Leeds, U.K.

Sparling, G.P., B.G. Ord, and D. Vaughan. 1981. Microbial biomass and activity in soils amended with glucose. Soil Biol. Biochem. 13:99-104.

Sugahara, K., Y. Harada, and A. Inoke. 1979. Color change of city refuse during composting process. Soil Sci. Plant Nutri., 25:197 208.

Sumner, M.E., H. Shahandeh, J. Bouton, and J. Hammel. 1986. Amelioration of an acid soil profile through deep liming and surface application of gypsum. Soil Sci. Am. J. 50:1254-1258.

Tate, R.L. III. 1995. Soil Microbiology. John Wiley & Sons, Inc. New York.

Taylor, H.M. and G.S. Brar. 1991. Effect of soil compaction on root development. Soil & Tillage Res., 19:111-119.

Terman, G.L., J.M. Soileau, and S.E. Allen. 1973. Municipal waste compost ; Effects on crop yields and nutrient content in greenhouse pot experiments. J. Environ. Qual. 2:84-89.

Thompson, J. 1984. Experiemces at Static Pile Composting Operations. Technology Transfer U.S. EPA, Municipal Environ. Res., Cininnati, OH.

Tisdale, S.L., W.L. Nelson, and J.D. Beaton. 1985. Soil fertility and fertilizers. Forth ed. Macmillian Publishing Company. New York. pp 394-396.

Torbert, H.A. and C.W. Wood. 1992. Effects of soil compaction and water-field pore space on soil microbial activity and N losses. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 23:1321-1331.

Unger, P.W. 1996. Soil bulk density, penetration resistance, and hydraulic conductivity under controlled traffic conditions. Soil & Tillage Research. 37:67-75.

Vekemans, X., B. Godden, and M.J. Penninckx. 1989. Factor analysis of the relationships between several physico-chemical and microbiological characteristics of some Belgian agricultural soils. Soil Biol. Biochem. 21, :53-58.

Voorhees, W.B., S.D. Evans, and D.D. Warnes. 1985. Effect of replant wheel traffic on soil compaction, water use, and growth of spring wheat. Soil Sci. Soc. Am. J., 49:215-220.

Wetterauer, D. and R. Killorn. 1996. Composting animal manure with municipal yard trimmings. BioCycle Oct. 54-57.

Wilson, G. B., J. F. Parr. and D. C. Casey. 1978. Criteria for effective composting of sewage sludge in aerated piles and for maximum efficiency of site utilisation. In the national conference on design of municipal sludge compost facilities, Chicago

Wong, M. H. 1985. Cultivation of Microalge in Refuse Compost and Soy-Bean Waste Extracts. *Aricultural Waste*, 12:225-233.

Zucconi, F., and M. de Bertoldi. 1987. Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste. pp. 30-50.. *In* M. de Bertoldi. (ed), Compost ; Production, quality and use. Elsevier Applied Science, London.

Zucconi, F., A. Pera, M. Forte, and M. Bertoldi 1981. Evaluating toxicity of immature compost. Biocycle, March/April. 54 57.

김필주, 이도경, 정덕영. 1997a. **토양구조변화에 따른 시설재배지 토양내 염류집적. 한국토양비료학회지. 투고중.**

김필주, 이도경, 정덕영. 1997b. **토양의 가비중 변화에 따른 수리전도도 및 이온의 용출특성 변화. 한국토양비료 학회지. 투고중.**

김필주, 이도경, 장기운, 정덕영. 1997c. **우분퇴비 처리가 다층토양의 수리전도도에 미치는 영향. 한국토양환경학회지. 투고중.**

김필주, 장기운, 민경훈. 1995. **음식물찌꺼기 고속발효기에 의해 처리된 퇴비의 안정성 검토. 한국유기성폐기물자원화협의회지**. 3:35 42.

농업기술연구소. 1988. **토양화학분석법. 농업기술연구소.**

농림수산부. 1996. 작물통계(1995년산)
농림수산부. 1995. 농림수산 통계연보. pp. 120-121.
신원교, 박중춘. 1988. Ⅷ. 시설재배 토양의 염류집적과 제염효과에 관한 연구, 농사시험 연구보고서 22:209-222
신원교. 1988. 시설원예지 토양의 염류집적과 장해 및 제염효과에 관한 연구. 서울대학교 박사학위논문.
유관식, 유순호, 송관철. 1994. 토양수분조건에 따른 Ca, Mg과 K의 이동. 한국토양비료학회지. 27:255-262.
유순호, 이강만, 신용화. 1974. 비닐하우스內 토양의 이화학성질에 관하여, 한국토양비료학회지 7:227-234
유순호. 1977. 밭토양의 물리성과 가리. 한국토양비료학회지 10:189-201.
육창수, 김재정, 홍순달, 강보구. 1993. 충북지역 시설원예재배지 토양의 염류집적 실태조사. 한국토양비료학회지 26:172-180.
이상은, 이강만. 1985. 시설원예지 염류집적토양에 대한 화학적 특성조사, 농사시험 연구보고서 (농기연) 1985:318-329.
이상은, 박준규, 윤정희, 김만수. 1987. 비닐하우스 토양 화학적 특성에 관한 연구. 농시논문집. 29:166-171.
장기운, 이인복, 임재신. 1995. 음식물찌꺼기를 이용한 퇴비의 부숙과정중 이화학적인 특성의 변화. 유기성폐기물자원화협의회지. 3:3 11.
전 학문. 1994. 유기질폐기물의 발효처리와 퇴비화. 아카데미서적.
정구복, 유인수, 김복영. 1994. 중북부지역 시설원예지 토양의 토성, 염농도 및 화학성분의 조성, 한국토양비료학회지 27:33-40
정영상, 유순호. 1975. 관수에 의한 비닐하우스內 토양의 제염. 한국토양비료학회지 8:53-60.
정준교, 황의영, 최정영, 남궁완, 1996. 물용출성분 분석에 의한 음식물쓰레기 퇴비의 숙성도 평가. 한국유기성폐기물자원화협의회지. 4(1):43 51.
조백현 외 14人. 1996. 삼정 토양학. 향문사. pp178-179.
최병주, 이종호, 박훈. 1990. 시설원예작물의 생리장해 유발 토양원인 연구, 1.토마토, 무, 배추. 한국토양비료학회지 23: 128-134.
前田正男, 松尾嘉郎, 1981. 土壤の 基礎知識. 農漁村文化協會.しまだ ながお. 昭和58年. 하우스 土壤의 特性과 改良. 農村漁村文化協會

주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림수산특정연구사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림수산특정연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.