최종보고서

농축산 폐기물 퇴비화 및 발효열 이용기술 개발

Agricultural Waste Composting & Biothermal Energy Utilization

연 구 기 관

순천대학교 농과대학

농 림 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 "농축산 폐기물 퇴비화 및 발효열 이용기술 개발" 과제의 최종보고서로 제출합니다.

1996. 11. 30

주관연구기관명 : 순천대학교

총괄연구책임자 : 홍 지 형

연 구 원 : 박 금 주

연 구 원 : 손 보 균

연 구 원 : 양 원 모

요 약 문

I. 제 목

농축산 폐기물 퇴비화 및 발효열 이용기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

가축분뇨와 농산물 잔사의 혼합물을 토양에 적당량을 적기에 사용하면 작물생산에 유효하게 이용될 수 있으며, 동시에 악취와 수질오염을 방지할 수 있다.

우리나라 농업환경의 당면과제는 수입사료에 의존한 대규모 축산업 발전으로 농지에 환원이 불가능한 과잉 가축분뇨의 자원화, 축사와 가축분뇨 처리이용 시설로부터 발생되는 산성비의 원인물질인 암모니아 휘산의 감량화 및 집약적 농업으로 인한 화학비료, 농약, 가축분뇨 등의 지하수의 초산태 질소 오염원의 발생 억제 등이다.

그러므로, 농축산 폐기물은 농업생산 활동에 유용한 자원이므로 적절한 처리를 하여 취급이 쉽고 안전한 자재로서 가공하는 것이 필요하다. 퇴비화는 이를 위한 유효한 수단이며 많은 축산농가와 유기질 비료 센터에서 널리 실용화되고 있다. 그러나, 퇴비화 과정에서 발생되는 발효열, 탄산가스 등의 부수적인 생성물질의 재자원화 및 암모니아가스 저감화 기술개발은 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구는 동계 시설채소 산업에 농축산 폐기물 퇴비화 기술을 도

입하여 채소재배용 완숙퇴비 공급은 물론, 발효열을 지온상승에 이용하고, 탄산가스를 식물의 광합성 작용에 활용하여 작물 생장과 수확량을 증대하고, 퇴비화 과정중 암모니아 휘산량을 저감화하는 기술을 개발하기 위하여 수행되었으며 그 구체적인 목적은 다음과 같다.

1. 축사에서 배출되는 우분과 왕겨 혼합물의 호기성 처리과정의 이화학적 특성 분석
2. 시설채소용 퇴비화 온실에서 발효열의 열특성, 유효 열에너지 및 지중온도 상승 효과 분석
3. 시설채소용 퇴비화 온실의 탄산가스와 지온상승이 작물생장과 수확량에 미치는 영향
4. 연속, 간헐통기 퇴적퇴비화 방식에 따른 암모니아가스 휘산량 변동특성 분석
5. 퇴비화 온실과 관행 온실의 연료 에너지 소비량 비교
6. 정치통기식 퇴비화 처리와 강제통기식 퇴비화 처리의 유기물 분해특성 분석
7. 유기성 폐기물의 퇴비화 기술개발 전략과 과제 제시

III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구는 지금까지 발표된 국내외 농축산 폐기물 호기성 처리기술에 관한 연구성과와 농업 선진국인 미국, 일본 및 유럽 등의 가축분뇨 문제와 현상, 처리이용 기술 사례를 검토분석하여 농축산 폐기물을 시설채소 산업에 자원화 이용하는데 목표를 두고 있다.

그러므로, 축사에서 배출된 분뇨와 왕겨 혼합물을 시설채소의 퇴비화 온실

에서 호기성 처리시에 발생되는 유기물의 성분 변화를 관행 퇴비제조법과 차이점을 알고, 퇴비화처리과정에서 발생된 발효열, 탄산가스, 암모니아가스등이 동계 시설채소재배 작물인 토마토 생육에 미치는 영향과 연료 소비량을 관행 온실과 비교분석하여, 합리적인 퇴비화 온실 기술을 개발하는데 있으며 연구개발의 주요 연구내용은 다음과 같다.

1. 강제(연속, 간헐)통기퇴적식 퇴비화공법으로 퇴비화 온실 지하에서 우분과 왕겨 혼합물을 호기성 처리할 때에 퇴비재료의 성분변화, 발효열의 유효에너지, 지중온도 변화, 탄산가스 농도의 변화, 작물 생장과 수확량 및 직접 연료에너지 소비량 등을 관행 온실과 비교 분석하였으며, 정치퇴적식 퇴비화와 강제통기식 퇴비화의 유기물 발효특성을 비교 분석하여 호기성 고형 퇴비화 처리의 퇴비화 기술자료로서 이용하였다.
2. 회분식 간헐통기 퇴적퇴비화 처리와 연속통기 퇴적퇴비화 처리에 있어서 발효온도 변화 및 성분조성의 변동, 암모니아가스 휘산량의 변화 등을 분석하여 퇴비화 온실의 기본 설계자료로 이용하였다.
3. 이상의 실험결과에서 얻어진 자료를 이용하여 퇴비화 온실 기술의 실용화 보급에 미치는 파급효과와 저해요인을 파악하여 환경보전형 지속농업 기술을 도출하였다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 주요 연구개발 결과

가. 우리나라 축산업에서 배출되는 분뇨와 왕겨 혼합물을 시설채소 산업의 퇴비화 온실에 공급하여 강제통기식 퇴적퇴비화 공법을 적용하면 숙성퇴비제조가 가능하고 퇴비화 과정에서 얻어지는 발효열, 탄산가스 등을 작물에

활용할 수 있으며 또한, 발효도중에 발생된 암모니아가스 배출은 퇴비발효 시작후 2-3주일 경과되면 거의 무취화 상태가 되므로 작물 정식은 이무렵에 할 수 있었다.

나. 단기간에 효과적인 퇴비화 처리를 위해서는 퇴비재료의 탄질비가 25-30이내, 수분이 60-70% 이내, 통기량이 재료 1m3당 0.05-0.1m3/min.의 조건을 갖추었을 때 암모니아가스의 저감이 가능하고 작물생육에 적당한 숙성퇴비를 2-3개월 내에 생산할 수 있었다.

다. 퇴비화 과정중 암모니아가스 휘산량은 발효온도가 45℃에서 65℃로 상승할 때에 가장 많이 발생되었고 통기량이 과다하거나 과소하면 더욱 많이 발생하였으며 또한, 퇴비재료의 탄질비 25 이하에서 더 많이 발생되고 있었다. 간헐통기법에서는 발효 개시후 4-6일째에 79-117ppm 정도를, 연속통기법에서는 2일째에 최적 통기량과 탄질비에서 720-1000 ppm을 나타내고 있었다.

라. 온풍난방기가 들어있는 동계 퇴비화 온실과 관행 온실에서 발효열로 인한 지중온도 변화와 탄산가스 농도의 변동은 다음과 같았다. 퇴비화 온실은 지온이 23-28℃, 탄산가스농도가 482-1154ppm의 범위에 있었고, 이때에 관행 온실 지온은 14-17℃를 나타내고, 탄산가스 농도는 440-462ppm의 범위를 나타내어 발효시작 후 70일 동안에 지중온도는 6-14℃의 큰 차이가 있었으며, 탄산가스 농도는 약 2배 정도의 차이가 있었다.

마. 퇴비화 온실에서 우분과 왕겨 혼합물을 적정범위의 초기재료 조건에서 강제(연속, 간헐)통기식으로 퇴비화 처리할 때에 주발효기간은 21일, 후숙기간은 21일로서 약 6주간이 소요되었다. 이때의 완숙 퇴비의 이화학적 성분은 수분이 53.6%, 수소이온농도가 7.3, 탄질비가 19.2 유기물 잔존율은 81.8%이며 퇴비의 발효온도는 55-60℃의 범위를 3일이상 유지하고 있어 완전 살균처리가 가능하였다.

바. 퇴비화 온실에서 퇴비화 발효기간이 종료되는 42일간의 연료 및 전력에너지 소비 절감비율은 2% 였고, 토마토 재배 효과는 생육과 수량에서 관행 온실에 비하여 현저한 차이를 나타내었고 토마토의 당도는 약 1도 정도 높았다.

2. 활용에 대한 건의

가. 퇴비화 온실은 농가에서 필요한 퇴비를 손쉽게 조달할 수 있게 하고, 퇴비 제조과정에서 발생하는 발효열 에너지와 탄산가스를 이용하여 온실 내 작물의 생육환경을 개선함으로써 작물의 수확량 증대를 달성할 수 있으나 시설비의 투자비용 때문에 농가에서 수용하기 어려운 시스템이다. 따라서 퇴비시용을 통한 환경보호, 토양의 지력증진, 에너지 절감 등의 차원에서 홍보와 함께 시설비의 지원이 요구된다.

나. 퇴비화 온실은 지하식 발효조이므로 퇴비재료의 투입 및 완숙퇴비의 운반 작업에 필요한 버케트엘리베이터 장치의 도입이 요구되며, 발효시작후 15일간은 퇴비 진행중에 발생되는 암모니아가스를 완숙 퇴비에 흡착 탈취처리하여 암모니아가스 발생에 의한 환경공해를 방지해야 한다.

다. 농축산 폐기물은 지역자원으로 취급하여 지역농업 시스템 내에서 재순환되어 농촌지역의 농업생산활동에 유효하게 재활용 되도록 하고, 퇴비화 온실에 의한 시설채소 재배 기술의 실용화 보급을 위해서는 에너지 절감, 취급성, 경제성, 지역에 파급효과 등을 정성적 및 정량적으로 평가하여 체계적인 도입을 추진해야 한다.

SUMMARY

This research was intended to develop composting system of animal waste which can make compost while cultivating vegetable in a greenhouse in winter. Composting greenhouse requires its own design parameters, operating methods and equipment to provide the optimum environment for biological degradation of agricultural wastes and vegetable cultivation.

Composting greenhouse is also a well researched, well understood process by scientists and engineers. It is not, however, well understood in the point of the operational level of composting process. In the past, many operations have failed due to the inappropriate application of the composting process, poor design, improper equipment, or other reasons.

It has been the aim of this research project to investigate composting operation requirements in greenhouse and to provide a basic new techniques for environmental improvement. Research project was performed in the following fields: 1) generic parameters of composting greenhouse, 2) biothermal energy and underground heating 3) carbon dioxide concentration and ammonia emission, 4) vegetable production and fuel and electric energy consumption. Important topics were selected in each field.

The main research results were as follows.

1. Generic parameters of composting greenhouse

Aerobic composting is a biological decomposition process which changes organic wastes into more stable chemical compounds with the release of

heat, carbon dioxide, ammonia and water vapour. The released heat can inactivate pathogens and weed seeds but also increase the underground temperature of soil.

The C/N ratio is a decisive factor in providing a good or bad course of decomposition in the composting. We know from numerous experiments that C/N ratio should be obtained in the range from 25 to 30 for avoidance of nuisance conditions and the time lag of decomposition. The composting process generates large quantities of carbon dioxide useful for vegetable growth inside the greenhouse.

The temperature in the high rate stage of composting maintained in the optimal range from 55 to 60°C to provide for pathogen inactivation. The mean temperatures of each 2 days was 48-57°C during the 21 days of thermophilic stabilization period and 44-25°C during the next 21 days of curing period.

The major requirements for successful composting of cattle manure mixture with rice hulls by the composting system with continuous and intermittent forced aeration are proper condition of composting materials and operation. Composting materials should have moisture content below 70%(wb), proper C/N ratio, and aeration should be supplied in the range from 0.05 to 0.1m3/min. per 1m3 of compost material to maintain the favorable biological process.

Changes in the constituents also reflect the maturing process. An decrease in the content of pH, moisture content, volatile solids, total carbon and C/N ratio, and a increase in total nitrogen over time, may serve as indicators for maturation of cattle manure and rice hulls combinations in an aerobic composting system.

2. Biothermal energy and underground heating

The continuous and intermittent aeration composting in a static pile system for underground heating of the greenhouse is a practical proposition. According to the measured results, the underground temperature reached a peak value from 33 to 20°C during composting.

The mean of underground temperature of the composting greenhouse was 28.5°C for the 21 days of active stage and then decreased to 24.4°C at the end of curing period. After 50 days of composting, the underground temperature of composting greenhouse maintained almost constantly at about 23°C, showing 8.2℃ higher value than that of the traditional greenhouse.

A mixtures of cattle manure and rice hulls generated 397 MJ of energy per m3 of compost material during 70 days of composting. However, an available heat for underground heating was estimated as 265 MJ/m3 .

3. Carbon dioxide concentration and ammonia emission

The average carbon dioxide concentration of each two weeks during composting was in the range from 782 to 1154 ppm in the composting greenhouse, whereas 440 - 462 ppm in the traditional greenhouse . The carbon dioxide level of composting greenhouse was about 2 times greater than that of traditional greenhouse.

The emission of ammonia during composting is undesirable because it represents loss of nitrogen from the final product and ammonia is a major component of odor generated. The ammonia level during intermittently aerated composting increased rapidly from the 2nd day of active composting, and the levels ranged from 79 to 117 ppm for a period from 4th to 6th day. When the compost temperature exceeded 65°C, the ammonia emission started to decline and could hardly be detected at 15th day of composting. However, in the high rapid composting, the excessive composting odour generation occurred at the 2nd day ranging from 720 to 1000 ppm according to the aeration rate and C/N ratio levels.

4. Cultivation effects and fuel and electric energy consumption

The enhancement of quality and yield of the cultivated tomato indicated that growing condition of composting greenhouse was improved by the biothermal energy and carbon dioxide, and that this composting system could be used at the farmhouse.

Composting greenhouse could reduce around 2 percent of fuel and electrical energy for 6 weeks of composting process compared with the traditional greenhouse.

CONTENTS

CHAPTER 1. INTRODUCTION

1-1 Research Needs -- 23

1-2 Objectives of Study ------------------------------------- 24

1-3 Scopes and Contents of Research ------------------------ 25

1. Scopes of Research -- 25

2. Contents of Research ------------------------------------ 25

1-4 Methodologies of Research ------------------------------ 26

CHAPTER 2. CHARACTERIZATION OF CATTLE MANURE AND RICE HULLS MIXTURES IN STATIC WINDROW AND AERATED STATIC PILE COMPOSTING

2-1 Introduction -- 28

2-2 Materials and Methods -------------------------------- 29

1. Experimental -- 29

2. Analysis -- 35

2-3 Results and Discussion -------------------------------- 36

1. Changes in composting temperature ---------------------- 36

2. Changes in components during composting ---------------- 42

2-4 Conclusions --- 45

CHAPTER 3. EFFECTS ON THE UNDERGROUND TEMPERATURE AND CARBON DIOXIDE CONCENTRATION DURING COMPOSTING PROCESS

3-1 Introduction -- 46

3-2 Materials and Methods -------------------------------- 47

1. Test apparatus layout -------------------------------- 47
2. Composting materials and experimental procedures ---------- 48
3. Construction of instrumental system and measurement of environmental factors -------------------------------- 49

3-3 Results and Discussion -------------------------------- 51

1. Effect of rising underground temperature ----------------- 51
2. Increase of carbon dioxide concentration ------------------ 56

3-4 Conclusions -- 61

CHAPTER 4. THERMAL PROPERTIES AND AVAILABLE ENERGY FOR UNDERGROUND HEATING OF PLASTIC GREENHOUSE BY COMPOSTING HEAT

4-1 Introduction -- 62

4-2 Materials and Methods -------------------------------- 63

1. Experimental materials and composting method ------------- 63
2. Equipment -- 63
3. Experimental -- 64
4. Measurement -- 64
5. Calculation --- 65

4-3 Results and Discussion -------------------------------- 67
1. Variations of temperature in compost pile, inside and outside of composter -- 67
2. Difference of underground temperature between composting and traditional greenhouse -------------------------------- 73
3. Changes in thermal conductivity ------------------------ 73
4. Available underground heating capacity ------------------ 73
4-4 Conclusions -- 75

CHAPTER 5. AERATED STATIC PILE COMPOSTING USING TIME BASED CONTROL SYSTEM
5-1 Introduction --- 77
5-2 Materials and Methods -------------------------------- 78
1. Test materials -- 78
2. Experimental --- 78
3. Measurement --- 81
5-3 Results and Discussion -------------------------------- 81
1. Variation of composting temperature in primary aeration period -- 81
2. Variation of composting temperature in curing period -------- 82
3. Average temperature classified by composting period --------- 92
4. Variation of chemical components for composting materials ---- 92
5-4 Conclusions -- 94

CHAPTER 6. VARIATION OF CHEMICAL COMPONENTS DURING STATIC WINDROW AND AERATED STATIC PILE COMPOSTING METHOD

6-1 Introduction -- 96
6-2 Materials and Methods -------------------------------- 98
1. Test materials -------------------------------------- 98
2. Experimental -- 98
3. Survey items and analysis ---------------------------- 99
6-3 Results and Discussion -------------------------------- 99
1. Changes in moisture content -------------------------- 99
2. Hydrogen ion level(pH) ------------------------------- 102
3. T-C, T-N and C/N ratio ------------------------------ 102
4. Ash and residual rate of organic matter --------------- 104
5. P_2O_5, NH_3-N and NO_3-N ------------------------------ 104
6. Changes in inorganic components ----------------------- 105
6-4 Conclusions --- 106

CHAPTER 7. ANALYSIS OF FUEL AND ELECTRICAL ENERGY CONSUMPTION IN COMPOSTING GREENHOUSE

7-1 Introduction -- 108
7-2 Materials and Methods -------------------------------- 109
1. Greenhouse layout ------------------------------------ 109
2. Test materials and experimental ---------------------- 110
3. Construction of instrumental system and measurement for environmental factors -------------------------------- 110

7-3 Results and Discussion ---------------------------------- 111

7-4 Conclusions -- 115

CHAPTER 8. EFFECTS ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF TOMATO IN COMPOSTING GREENHOUSE

8-1 Introduction --- 117

8-2 Materials and Methods ---------------------------------- 118

1. Greenhouse and composting facility ----------------------- 118
2. Instrumentation for greenhouse environment --------------- 119
3. Raising seedlings and transplantation -------------------- 119
4. Investigation of growth ---------------------------------- 120

8-3 Results and Discussion ---------------------------------- 121

1. Environmental changes in composting greenhouse ----------- 121
2. Effects on the growth promotion in composting greenhouse ---- 124
3. Yield and quality of fruit ------------------------------ 128

8-4 Conclusions -- 131

CHAPTER 9. AMMONIA EMISSION DURING INTERMITTENT AERATION COMPOSTING OF DAIRY MANURE AND RICE HULLS MIXTURES

9-1 Introduction --- 133

9-2 Materials and Methods ---------------------------------- 134

9-3 Results and Discussion ---------------------------------- 136

9-4 Conclusions -- 143

CHAPTER 10. INFLUENCE OF AERATION RATE ON THE AMMONIA EMISSION IN HIGH RAPID COMPOSTING OF DAIRY MANURE AND RICE HULLS MIXTURES

10-1 Introduction -- 144

10-2 Materials and Methods -------------------------------- 145

10-3 Results and Discussion -------------------------------- 147

10-4 Conclusions -- 152

CHAPTER 11. SUMMARY AND CONCLUSIONS

11-1 Summary of research project -------------------------- 153

11-2 Expected effects as a result of research project ------------ 160

11-3 Applicable plans as a result of research project ------------ 161

11-4 Futures problems of research project --------------------- 162

REFERENCES --- 163

APPENDIX : Nomenclature of Measuring Variables ------------- 171

목 차

제1장 서 론

제1절 연구의 필요성 -- 23

제2절 연구의 목적 -- 24

제3절 연구의 범위와 내용 -- 25

1. 연구의 범위 -- 25

2. 연구내용 -- 25

제4절 연구방법 -- 26

제2장 우분뇨와 왕겨 혼합물의 정치퇴적식 및 강제통기식 퇴비화 특성

제1절 서론 -- 28

제2절 재료 및 방법 -- 29

1. 실험장치 -- 29

2. 분석방법 -- 35

제3절 결과 및 고찰 -- 36

1. 퇴비화 온도의 변화 -- 36

2. 퇴비화 과정의 성분조성 변화 -- 42

제4절 결론 -- 45

제3장 퇴비화 처리가 지중온도 및 탄산가스 농도에 미치는 효과

제1절 서론 -- 46

제2절 재료 및 방법 -- 47

1. 실험장치 개요 -- 47
2. 퇴비화 재료 및 실험 방법 ------------------------------ 48
3. 계측시스템 구성 및 환경요인 측정법 ------------------- 49
제3절 결과 및 고찰 -------------------------------------- 51
1. 지온상승 효과 -- 51
2. 탄산가스 농도의 증가 -------------------------------- 56
제4절 결론 -- 61

제4장 퇴비화 발효열의 온실 지중가온에 있어서 열특성 및 유효에너지
제1절 서론 -- 62
제2절 재료 및 방법 -------------------------------------- 63
1. 실험재료 및 퇴비화 방법 ----------------------------- 63
2. 실험 장치 --- 63
3. 실험방법 --- 64
4. 측정법 --- 64
5. 산출법 --- 65
제3절 결과 및 고찰 -------------------------------------- 67
1. 퇴비 파일 및 발효조 내외부의 온도 변화 ------------- 67
2. 퇴비화 온실과 관행 온실의 지온 차이 ---------------- 73
3. 열전도 계수의 변화 ---------------------------------- 73
4. 유효 지중난방 열량 ---------------------------------- 73
제4절 결론 -- 75

제5장 시간조절 방식에 의한 강제통풍 퇴적퇴비화처리
제1절 서론 -- 77

제2절 재료 및 방법 -- 78
1. 실험재료 -- 78
2. 실험 장치 및 방법 -- 78
3. 측정방법 -- 81
제3절 결과 및 고찰 -- 81
1. 주발효기간의 발효온도 변화 ------------------------- 81
2. 후숙 기간의 발효온도 변화 ------------------------- 82
3. 퇴비화 기간별 평균온도 분포 ------------------------- 92
4. 퇴비재료의 화학적 성분 변화 ------------------------- 92
제4절 결론 -- 94

제6장 정치퇴적식과 강제통기식 퇴비화 방식의 화학적 성분 변화
제1절 서론 -- 96
제2절 재료 및 방법 -- 98
1. 실험 재료 -- 98
2. 실험 장치 -- 98
3. 조사항목과 분석방법 ------------------------------- 99
제3절 결과 및 고찰 -- 99
1. 수분의 변화 -- 99
2. 수소이온농도 -- 102
3. 전탄소, 전질소 및 탄질비 ------------------------- 102
4. 조회분과 잔존 유기물 ------------------------------- 104
5. 인산, 암모니아태 질소 및 질산태 질소 ---------------- 104
6. 무기성분 변화 -- 105
제4절 결론 -- 106

제7장 퇴비화 온실에서 전기 및 연료 에너지 소비량 분석

제1절 서론 -- 108

제2절 재료 및 방법 ---------------------------------- 109

1. 온실의 개요 ------------------------------------ 109

2. 작물재배 시험재료 및 방법 -------------------------- 110

3. 계측시스템 구성과 환경변수의 측정 ------------------ 110

제3절 결과 및 고찰 ---------------------------------- 111

제4절 결론 -- 115

제8장 퇴비화 온실의 토마토 재배 효과

제1절 서론 -- 117

제2절 재료 및 방법 ---------------------------------- 118

1. 온실 및 퇴비화 시설 ------------------------------ 118

2. 온실 환경요인의 계측 ------------------------------ 119

3. 토마토 육묘 및 정식 ------------------------------ 119

4. 생육조사 -- 120

제3절 결과 및 고찰 ---------------------------------- 121

1. 퇴비화 온실의 환경 변화 -------------------------- 121

2. 퇴비화 온실의 생육촉진 효과 ----------------------- 124

3. 과일 수량과 품질 --------------------------------- 128

제4절 결론 -- 131

제9장 우분뇨와 왕겨 혼합물의 간헐통기 퇴비화 과정에서 암모니아 휘산
제1절 서론 -- 133
제2절 재료 및 방법 ------------------------------------ 134
제3절 결과 및 고찰 ------------------------------------ 136
제4절 결론 -- 143

제10장 우분뇨와 왕겨 혼합물의 급속 퇴비화 과정에서 암모니아 휘산에 미치는 영향
제1절 서론 -- 144
제2절 재료 및 방법 ------------------------------------ 145
제3절 결과 및 고찰 ------------------------------------ 147
제4절 결론 -- 152

제11장 요약 및 결론
제1절 연구개발 사업의 주요 결과 ------------------------- 153
제2절 연구개발 사업결과로 예상되는 기대효과 --------------- 160
제3절 연구개발 사업결과의 활용방안 ----------------------- 161
제4절 연구개발 성과에 대한 금후의 과제 ------------------- 162

참고문헌 -- 163

부록 : 측정변수의 명명법 --------------------------------- 171

제1장 서론

Introduction

제1절 연구의 필요성

우리나라 농업은 최근 농축산물 수입이 자유화됨에 따라, 국제 경쟁력 제고를 위하여 시설농업 기술개발에 다양한 노력이 기우려지고 있다. 이러한 농업의 경쟁력 강화에는 보다 경제적이고 창의적인 실용화 기술의 개발이 요청된다. 따라서, 농축산물 생산과 관리작업의 체계화로 에너지효율 향상, 쾌적한 생육환경 및 환경오염 방지 등의 환경 보전형 기술개발 사업이 추진되어야 할 것으로 전망된다.

1970년도에 우리나라 축산업의 가축 사육두수는 소, 돼지, 닭이 각각 1,310천두, 1,126천두 및 23,633천 마리에 불과했으나 1995년도에는 각각 3,139천두, 6,490천두 및 89,247천 마리로서 2.4- 5.8배가 증가되었으며 1995년 현재 가축분뇨 발생량은 약44백만톤에 달하고 있다.

한편, 시설채소 원예산업의 재배면적과 생산량은 1980년도에 17.9천ha에서 412천톤이었으나 1992년도에는 50.1천ha에서 1435천톤으로 시설채소 생산량은 재배면적의 증가와 재배기술의 발전으로 생산량이 3배이상 증가되고 있다.

그동안 축산업과 시설채소 원예산업은 전업화, 대규모화로서 에너지 효율의 저하, 환경오염, 노동력 부족, 겸업화의 진전, 지력증강 등에 문제가 발생되고 있으나 생산성의 향상, 경영의 안정, 농축산폐기물의 자원화, 농업환경의 부하경감 등의 관점에서 농축산 폐기물의 에너지 환경사업에 대한 기술적이고 전략적인 실용화 방안은 제시된 바 없다.

이와 같은 국내외 농업 여건의 급속한 변화에 대비하기 위해서는 대량으로 발생되는 농축산폐기물 자원이 시설원예 산업에 활용되도록 종합적인 농업 에너지환경 기술의 대책수립을 위한 실용화 방안이 구체적으로 마련되어야 한다.

제2절 연구의 목적

우리나라의 시설농업은 최소비용으로 최대이익을 추구하는 환경보전형 지속적 농업으로 발전되어야 한다. 특히, 시설재배는 작물의 최대 수익확보를 위한 생육환경의 조성과 유지 및 노동효율의 증대를 요구하고 있고, 가축분뇨와 농산부산물은 오염원 함량이 높은 폐기물인 동시에 농업적으로 활용 가치가 높은 비료영양분, 유기질, 발효열 및 탄산가스 등이 포함된 중요한 환경에너지 자원이다.

이와 같은 시설원예와 농업폐기물의 특성을 고려하여 온 실내에서 유기성 폐기물의 고형퇴비화처리는 가축분뇨와 농산물 잔사의 이용확대를 추진하는 효율적인 방법으로 시설채소 산업의 작물 생육환경을 조성하고 유지하는데 실용화가 가능하다고 사료된다.

따라서 본 연구사업의 궁극적인 목표는 정부의 지역에너지자원 관리사업을 효율적으로 추진할 수 있는 정책지표를 제공하는데 기여할 뿐만 아니라 농축산 폐기물의 호기성 퇴비화 처리과정에서 발생되는 암모니아가스를 저감하고 또한, 완숙퇴비, 발효열 에너지 및 탄산가스 등을 동계 시설채소 재배에 이용하여 저 비용으로 고품질의 퇴비를 제조하면서 고수익 작물을 생산하여 축산공해 방지 및 시설농업 경영의 안정화에 기대되는 퇴비화 온실을 합리적으로 운영 관리하는데 필요한 기초자료를 제시하는데 있다.

제3절 연구 범위와 내용

상기 연구목표를 달성하기 위한 본 연구의 범위와 내용은 다음과 같다.

1. 연구의 범위

본 연구 범위는 농축산폐기물의 호기성 고형퇴비화 처리 과정에서 발생되는 악취가스를 탈취하고, 완숙퇴비, 발효열, 탄산가스 등을 시설채소 작물재배에 활용하는 것을 목표로 하여 동계 온실시설 내에서 강제통기(연속,간헐)식 퇴비화 방법의 유기물 분해 특성, 발효열량, 암모니아가스 휘산량 및 탄산가스 배출량은 물론, 온실의 열 및 가스환경과 시설채소의 생육상태 및 수확량 등을 정성적 및 정량적으로 검토 분석하는 것으로 하였다.

2. 연구내용

본 연구에서 수행한 내용을 요약하면 다음과 같다.

가. 정치퇴적식 및 강제통기식 퇴비화 방식에서 발효온도와 성분변화

나. 퇴비화 온실에서 지중온도와 탄산가스 농도의 영향

다. 통기시간 조절에 의한 강제통기퇴비화 처리 특성

라. 퇴비화 발효열의 지중가온 열특성 및 유효에너지

마. 강제간헐통기식 퇴비화방법에서 유기물 성분 변화

바. 관행 온실과 퇴비화 온실의 작물재배 효과

사. 관행 온실과 퇴비화 온실의 연료 및 전기에너지 소비량 분석

아. 간헐통기 퇴비화에서 암모니아가스 휘산량

자. 연속통기 퇴비화방식에서 통기량이 암모니아 휘산에 미치는 요인

제4절 연구방법

본 연구를 수행하기 위하여 강제통기식 퇴비화처리 방식을 실시하였으며 연구방법의 개요는 다음과 같다.

1. 퇴비화 온실 및 관행 온실의 실험장치

퇴비화 발효열과 탄산가스 발생이 시설채소 재배 에너지원으로 이용 가능성을 현장실험을 통하여 검증하기 위해서 1995. 12. 20 부터 1996. 5. 20 까지 전남 광양시 도월리 소재의 시설채소 농가에 면적 54.6m2의 이중가동 커튼형 플라스틱 온실을 퇴비화 온실(퇴비구)과 관행 온실(대조구)로 구분하여 발효열의 지온 상승 효과와 탄산가스 농도를 측정하면서 토마토 재배효과를 비교 분석하였고 퇴비화 온실의 강제통기 퇴비화처리의 유기물 분해특성을 관측 조사하였다.

2. 간헐통기식 및 연속통기식 퇴비화 실험장치

호기성 고형퇴비화 과정의 암모니아 휘산량을 측정하기 위하여 실제규모 크기(3.15m3)와 소형(12L) 회분식 발효조를 제작하여 1996. 6. 7 부터 1996. 9. 4 일까지 실험하였다.

3. 퇴비화 실험재료 및 방법

퇴비원료는 우사의 분뇨처리에 사용되는 왕겨(깔짚 재료)와 우분의 혼합물이며 퇴비화 방식은 퇴비화 발효열과 탄산가스 회수 및 암모니아가스 발생 저감에 적합한 강제통기 퇴적식 퇴비화법이며 통기 방법은 시간 조정에 의한 연속 및 간헐통기법으로 호기성 발효처리하였다.

4. 계측 시스템의 구성과 환경요인의 측정

환경 계측 변수는 온실 내외부의 온습도, 지중 및 지상온도, 퇴비발효온도, 온실 내부의 탄산가스농도 등과 연료소비량 등이 있으며, 이들의 값을 측정하기 위한 자동기록 계측 시스템을 구성하였다. 32개소의 센서로부터 입력된 아날로그 신호는 각각의 신호처리 장치, 2개의 멀티플렉서와 1개의 16채널 A/D변환기를 통하여 디지털 값으로 변환되어 컴퓨터에 입력되게 했다. 한편, 암모니아가스 농도는 일정시간 간격으로 가스검지관으로 계측하였다.

5. 퇴비재료의 이화학적 특성 분석

실험에 사용된 퇴비재료의 이화학적 성분변화에 관한 분석방법은 농촌진흥청 토양화학분석법에 준하여 항목별 성분 분석기의 측정분석법에 따라서 수행하였다.

6. 작물재배 효과 시험재료 및 방법

퇴비구의 작물 생육 상황과 수량을 관행구와 비교검증하기 위하여 방울 토마토와 대과종 토마토의 2종류를 실험재료로 이용했으며, 온실 내의 온도는 온풍 난방기를 1일 4개의 구간으로 나누어 각 단계별 최저온도가 15-21℃의 범위가 되도록 하고 관수는 매일 1회 3-8분 동안 15-40L를 공급하였다.

제2장 우분뇨와 왕겨 혼합물의 정치퇴적식 및 강제통기식 퇴비화 특성

Characterization of Cattle Manure and Rice Hulls Mixtures in Static Windrow and Aerated Static Pile Composting

제1절 서 론

가축분뇨와 작물잔사는 비료와 토양개량재로서 이용가능한 귀중한 자원이다. 1995년도의 우리나라 가축분뇨 배설량 중에 함유된 비료성분량은 질소 343천톤, 인산 264천톤, 칼리315천톤에 달한다. 이것은 화학비료 소비량의 질소 475천톤에는 미치지 못하나 인산과 칼리 소비량 222천톤, 264천톤 보다는 높은 수준이다. 따라서, 가축분뇨를 비료로서 작물생산에 효과적으로 활용함으로써 투입에너지 절약에 기대효과가 클 것으로 기대된다.

가축분뇨의 토양환원 처리는 액상퇴비화, 고형퇴비화 및 폭기탈취등의 호기성 처리와 건조증발(농축)처리가 있으나 작물생육 장해, 잡초발생 및 악취발생 등의 취급관리문제와 이용면에서 건조증발처리 보다는 고형퇴비화 처리 방식이 실용적이다.

고형퇴비화 처리는 퇴적식 및 교반식으로 대별되며 전자는 발효기간이 길고 효율이 낮은 자연통기 퇴적형(정치식 또는 야적식)과 이와는 반대로 기계적 통기에 의하여 발효를 촉진하면서 퇴비화 과정에서 발생되는 발효열 및 탄산가스등의 자원회수가 가능한 강제통기 퇴적형으로 구분된다. 강제통기 퇴적형(통기 퇴적식)은 통기능력이 높고 충분한 산소에 의한 분해효율이 높아서 수분이 다소 많은 60- 70% 수준의 재료에서도 발효가 가능하여 가축분뇨와 왕

겨의 혼합물 퇴비화처리 실용화기술로서 최근 많이 보급되고 있으나, 퇴비화 기간의 단축, 발효열과 탄산가스 이용 및 암모니아가스의 탈취처리 등에 효과적인 통기방법의 개선이 요구되고 있다.

퇴비화 발효를 효율적으로 수행하기 위해서는 분해의 주역인 미생물의 호기성 상태의 유지가 필요하여 통기량(산소의 공급)과 수분이 있는 유기물의 확보가 중요하다. 또한, 퇴비온도는 분해미생물의 적정온도인 45-60℃로 유지되어야 한다.

그러나, 이제까지의 통기 방식에서는 퇴비재료의 통기성 개선을 위하여 다량의 부자재를 필요로 하여 동계 퇴비화 작업에 분해효율 저하 문제와 통기량의 변동폭에 따른 냉각현상 그리고 재료의 탄질비가 적정범위 이하로서 극심한 악취가 발생하는 것과 과대한 탄질비의 문제로서 발효기간이 오래 지속되는 등의 문제가 발생하여 왔었다.

따라서, 본 연구는 교반(반전)통기가 없는 상태에서 시설채소 온실 밖의 관행 지상개방형 자연통기 퇴적식(정치퇴적식) 퇴비화 방식과 퇴비화 온실내의 지하밀폐형 강제통기 퇴적식(강제통기식) 퇴비화 방식의 발효처리 과정에서 산소공급이 퇴비화 온도와 퇴비재료의 성분변화에 미치는 영향을 비교 분석하여 시설채소 재배의 고형퇴비화 시스템 개발에 보다 합리적이고 효율적인 퇴비화 통기방법을 제시하는데 목적이 있다.

제2절 재료 및 방법

1. 실험장치

온실 밖에 설치한 정치퇴적식과 퇴비화 온실(54.6m^2)의 내부에 설치한 강제통기식의 발효용적(중량)은 각각 8.1m^3(3.2t) 및 6.5m^3(2.6t)로서 작물재배 10a 당에 소요되는 퇴비량 수준으로 설치하였다.

퇴비발효 공정은 주발효와 후발효(후숙)로서 70일간 연속실험하여 퇴비온도와 외기온도 온실 실내온도 등은 컴퓨터를 중심으로 한 자동계측시스템으로 측정하고 퇴비재료의 이화학적 특성은 1주일 간격으로 시료를 분석하였다. 퇴비화 온실 장치의 개요는 그림 2-1에, 퇴비화 온실과 관행 온실의 환경변수 측정위치는 그림 2-2와 그림 2-3에, 계측 시스템의 구성도는 그림 2-4에 나타냈으며 정치퇴적식과 강제통기식의 실험조건은 표 2-1과 같다.

표 2-1. 실험조건의 개요
Table 2-1. Summary of composting test conditions.

Type	Static windrow	Aerated static pile
System	Open system	Semi-closed system
Aeration	Natural air blowing without turning	Forced air blowing with temperature control
Size	3.6m W x 1.8m H x 3.0m L	0.6m W x 0.6m H x (8.0 x 3set)m L

강제통기식 퇴비화 장치는 퇴비화 재료가 호기성 발효를 지속하는데 필요한 산소를 공급하기 위하여 발효조 바닥면의 중앙의 세로방향에 직경 4cm의 유공파이프를 설치하고 상부에 직경 5mm의 구멍을 30cm의 간격으로 지그재그형으로 배열하여 공기를 공급 하였고, 발효조 상층부에는 8cm의 복토층을 두어 지나친 수분 증발을 억제하였으며, 발효후 10일째까지 한시적으로 비닐덕트을 씌워 배기팬으로 암모니아가스를 배출 시켰다. 한편, 발효조 하부에는 7cm의 왕겨층을 두어 투입공기가 균일하게 공급되도록 하였다.

송풍기는 터어보 부로어형 소형 고압팬으로 통기량은 45m³/h이며 송풍은 타이머 작동에 의하여 발효온도의 상태에 따라서 임의로 작동과 정지시간을 조정할 수 있도록 하였으며, 퇴비진행에 따라 증발되는 수분량을 보충하기 위

하여 2중 타이머를 관수파이프에 연결하여 매일 1분단위로 관수시간을 조절할 수 있도록 하여 점적관수하였다. 또한, 퇴비화 온실 내부공기 온도가 작물재배에 적정온도 수준에 도달할 수 있도록 온풍난방기(난방능력 83,740kJ/h, 출력 0.75kW)를 설치하였다.

2. 분석 방법

퇴비재료는 우분과 왕겨를 용적비(2:1)로 혼합하여 초기재료 수분이 65-70%의 범위가 되게 하였으며 발효온도는 정치퇴적식은 퇴비중앙 상부에서 90cm익 위치에서, 강제통기식은 퇴비파일 단면의 중심으로서 상부로부터 30cm의 위치에서 측정하였다. 통기방법은 정치퇴적식은 퇴비더미의 반전통기 없이 자연통기법으로 하였고, 강제통기식은 퇴비재료 1m3당 87L/m3의 통기량으로 공급하고, 적정 발효온도 수준을 유지하기 위하여 연속통기와 간헐통기법(1-5분 가동, 55-59분 정지)을 적용하였다. 퇴비발효 중에 퇴비재료 수분의 과도한 증발로 인한 발효억제 현상을 방지 하기 위해 정치퇴적식은 노천상태로 하였으나 강우와 강설량이 극히 많지는 않았으며 강제통기식은 퇴비재료 1m3당 1.7L의 물을 매일 1회식 점적 관수처리 하였다.

(1) 온도: 퇴비재료의 발효온도, 온실 실내온도 및 외기온도 등은 온도센서를 설치하여 전 발효기간을 통하여 자동측정 기록하였다.

(2) 수분: 퇴비재료 혼합시 5점 및 발효시작 후에는 일주일 간격으로 9점의 시료를 채취하여 105℃, 24시간법으로 측정하였다.

(3) 수소이온농도: 시료를 증류수로 현탁하여 초자전극법으로 측정 분석하였다.

(4) 탄질비: 시료를 건조하여 분쇄한 후 CHN자동분석기에서 총 탄소를 분석하고, 총 질소는 채취 건조된 시료 1g을 습식분해한 후 킬달증류장치에 분해액 10ml을 취하고 40% NaOH액(약 20ml)을 가하여 강 알카리화한 다음 7-8

분 증류하여 유출액 50-60ml을 받아서 N/50 유산표준액으로 적정하며 청색에서 미적색일 때를 종말점으로 하여 계산하였다.

(5) 무기태질소: 암모니아태와 질산태 질소는 20g의 생 시료를 2M KCL용액으로 침출하여 그 액을 MicroKjeldahl 증류장치에서 Mgo와 40% NaOH액으로 알카리화한 다음 0.01N 황산용액으로 적정 계산하였다.

(6) 조회분: 건조조제된 시료 1g을 자기제 회화도가니에 평량하고 회화로에서 600℃로 8시간 가열하여 유기물을 연소시켜 중량법으로 계산하였다.

제3절 결과 및 고찰

1. 퇴비화 온도의 변화

유기성 폐기물의 호기성 고형퇴비화 처리에서 주발효의 지표를 나타내는 발효온도의 최적범위는 45-60℃이고, 후숙(후발효)의 지표는 산소 공급원의 통풍공기의 온도와 발효온도가 거의 동일한 수준에 이를 때를 말한다. 그림 2-5의 (a)-(e)는 퇴비화 온실내의 강제통기식 퇴비화 장치와 온실 밖의 정치퇴적식 관행 퇴비화 장치에서 퇴비화 발효온도, 온실 내부와 외기온도의 경시적 변화를 나타낸 것이다.

통기식 퇴비화의 발효온도(TM5)는 그림 2-5의 (a)와 (b)에서 연속통기 개시후 12시간 내에 적온범위를 유지하여 4-6일 째에 60℃를 나타내고 그 이후부터는 급격히 온도가 떨어져서 정지후 다시 연속통기를 한 결과 냉각현상을 나타내고 있었다. 따라서, 10일째부터 간헐통기를 하였더니 다시 온도가 상승하여 14일째에 최고 온도 62℃에 도달한 이후부터 점차 감소하여 21일째에 42℃를 나타내어 주발효 과정을 끝내고 있었다. 퇴비의 후숙 기간은 주발효 이후부터 발효온도(TM5)의 변화가 산소 공급원의 공기온도(TB3)와 동일한 온도가 될 때까지의 기간으로 그림 2-5 (c)와 (d)에서 42일째에 25℃ 수준에

서 후숙과정이 끝나고 있었다.

따라서, 연속 및 간헐통기법의 강제통기식 퇴비화 처리는 42일이 지나야 숙성퇴비가 된다는 것을 알 수 있었다.

한편, 교반통기가 없는 관행의 정치식 자연통기법의 퇴비화의 온도(TM9)는 그림 2-5(a)에서 발효후 4일째에 45℃를 유지하여 10일째에 최고온도 58℃에 도달한 후, 점차적으로 감소하여, 그림 2-5(d)의 48일째에 45℃로서 주발효기간을 마치고 있었다. 정치식의 후숙 과정은 그림 2-5(d)와 (e)에서 발효온도가 50℃일 때에 42일이 소요되고 40℃일 때에 62일이 소요되는 경향을 나타내고 있어 발효온도가 10℃ 저하하는데 20일이 필요하므로 퇴비온도(TM9)와 온실외기온도(TO2)가 일치하는 일정한 온도 10℃로 될때까지의 소요기간은 122일로 추정된다. 따라서, 정치식은 주발효 48일 및 후숙 122일로서 숙성퇴비 제조의 전 소요기간은 170일이다.

이와같은 실험의 결과로서 퇴비재료의 교반통기가 없는 상태의 경우에 혐기성 처리의 정치식 보다 호기성 처리인 강제통기식은 발효 기간을 130일 정도 단축하므로 76%의 발효효율을 개선하였다.

2. 퇴비화 과정의 성분 조성 변화

유기성 퇴비화 처리과정에서 부숙 지표가 되는 것은 발효온도 이외에 수분, 수소이온농도, 탄질비, 무기태 질소, 유기물 잔존율 및 조회분 등의 이화학적 성분이 사용되고 있다. 그러나, 이러한 성분은 퇴비재료마다 서로 다르므로 완숙도에는 일정한 기준이 없고 재배작물에 해로운 영향을 미치지 않는 범위 이내를 허용기준으로 하고 있다.

본 실험 결과에 의하여 얻어진 주요 성분의 변화는 표 2-2와 같으며 우분과 왕겨의 혼합물인 퇴비재료의 발효전의 성분은 수분이 68%, 수소이온농도가 8.67, 전 탄소가 45.06%, 전 질소가 1.78%, 탄질비가 25.3, 암모니아태 질소가

2,223ppm, 질산태 질소가 7ppm, 조회분이 18.9%(TS) 등이었다.

퇴비재료의 발효전 성분을 퇴비화의 적정 초기조건과 비교해 보면 수분이 65-70% 범위로서 밀폐식의 최적수준인 50-60% 보다 10% 이상 많은데 개방식은 60-70% 범위도 가능하다. 수소이온농도가 적정값인 7보다 큰 8.67로 나타난 이유는 축분에 함유된 뇨 성분에 기인된다고 판단된다. 탄질비의 초기조건은 25.3으로서 최적값인 25-30의 범위 내에 있었다.

통기식 퇴비화법의 성분변화를 발효전, 주발효(3주째까지) 및 후숙(6주째까지)등으로 구분하여 볼 때에 수분은 67.8%, 61.0%, 53.6% 의 순으로 감소되고 있었다. 한편, 실제 측정된 6주째의 퇴비의 용적 감소율은 24%를 나타내고 있었다. 주발효기간에 과도한 수분과 배기가스 증발로 인하여 주발효 이후부터 그림 2-5의 (b)와 같이 점적관수를 하여 적정수준을 유지하였다.

통기식의 수소이온농도 변화는 발효전에 8.67, 발효가 왕성한 1주째는 8.99의 높은 상태를 나타낸 후에 점차적으로 감소하여 6주째는 7.33을 나타내고 있었다.

통기식의 전 탄소는 발효전 45.06%로부터 6주째는 38.50%로 감소하였고, 전 질소는 1.78% 에서 1.83% 로 늘어났으며, 탄소가 크게 감소된 것은 탄산가스로 비산되었기 때문이다. 탄질비는 발효전 25.3에서 숙성 퇴비(6주째)가 된 후에는 19.2로서 작물생육에 적정범위인 15-20내의 값을 유지하고 있었다. 암모니아태 질소는 2,223ppm에서 1,442ppm으로 감소하였고 질산태 질소는 7ppm에서 91ppm으로 증가하였다. 유기물 잔존율과 조회분은 6주째에 각각 81.8% 및 33.7% 를 나타내고 있었다.

정치식 퇴비화법의 성분변화를 발효전과 발효후 6주째까지 분석하여 통기식의 숙성퇴비인 6주째와 비교하기 위하여 먼저 정치식의 수분변화를 보면 발효전 68.1% 에서 6주째에 59.1% 로서 서서히 감소하고 있었으며, 이때의 퇴비재료의 체적은 6% 감소하였다. 또한, 수소이온농도는 8.68에서 7.80으로 변화되

었고, 전 탄소는 45.06% 에서 41.00% 로, 전 질소는 1.78% 에서 2.26% 로 늘어났으며 탄질비는 25.3에서 18.1로 변화되었다. 끝으로, 암모니아태 질소는 발효전 2223ppm 에서 774ppm으로 감소하였고, 질산태 질소는 7ppm 에서 354ppm 으로 증가하였다. 유기물 잔존율은 90.9% 이며 조회분은 18.9% 에서 26.2% 로 늘어났다.

이와같이 통기식의 숙성퇴비와 정치식의 미숙퇴비의 성분변화를 살펴볼때에 현저한 차이를 보이는 성분은 암모니아태 질소와 질산태 질소로서 숙성퇴비가 1,442ppm, 91ppm이나 미숙퇴비가 774ppm, 354ppm이며 유기물잔존율과 조회분은 숙성퇴비가 81.8%, 33.7%이고 미숙퇴비가 90.9%, 26.2%를 나타냈다.

제4절 결론

축산농가에서 배출된 우분뇨와 왕겨 혼합물로 시설채소 재배의 지력증강을 위해서 퇴비를 제조할 때에 관행방식인 정치퇴적식 및 발효기간을 단축하고 발효열 및 탄산가스를 이용함과 동시에 완숙 퇴비를 생산할 수 있는 강제통기식의 발효온도와 성분변화를 비교분석하기 위하여 퇴비화 실험을 하였다.

연속 및 간헐통기법에 의한 강제통기식 퇴비화 처리는 주발효 21일, 후숙21일로서 숙성퇴비 제조에 소요되는 기간은 42일이었으나, 정치퇴적식 퇴비화 처리는 주발효 48일, 후숙 122일로서 전체 소요기간은 170일로 추정되었다.

통기식 숙성퇴비의 주요성분은 수분 53.6%, 수소이온농도 7.33, 탄질비 19.2, 유기물 잔존율이 81.8%, 조회분이 33.7% 등으로 취급관리와 작물이용에 적정범위를 이루고 있었다.

그러므로, 시설채소 재배 토양의 지력증강을 위한 고품질의 퇴비제조를 위해서는 관행의 정치퇴적식을 지양하고 소요퇴비량를 기초로한 강제통기식 퇴비화 장치의 설치가 바람직 하다.

제3장 퇴비화 처리가 지중온도 및 탄산가스 농도에 미치는 효과

Effects on the Underground Temperature and Carbon Dioxide Concentration during Composting Process

제1절 서론

농축산업의 대규모 전업화로 인하여 다량 소비되는 화석 에너지의 대량소비 및 농축산폐기물의 배출에 의하여 에너지, 환경문제는 우리농업의 생산활동을 위축하고 있다. 이와 같은 환경파괴적 농업을 탈피하여 환경 보전적인 저투입 에너지 및 고품질 농산물 생산이 지속 가능한 농업 기술체계를 확립하기 위해서는 미이용 자연(지역)에너지를 이용할 수 있는 농업기술 개발이 요구되고 있다.

시설채소 산업에 자연 에너지원으로는 태양열, 지하수, 폐기물 및 지열수 등이 있으며 그가운데 태양열의 지중열 교환법, 지하수의 워터커튼 재배법 등은 화석에너지 대체율이 25% 이하 수준에 있다.

농축산 폐기물의 호기성처리는 고형퇴비화 및 액상퇴비처리 등이 있으며 공해방지가 가능하고 발효열과 탄산가스를 이용할 수 있는 특징이 있다. 고형퇴비화 과정에서 발생되는 발효열 이용은 퇴비재료의 혼합교반이 없는 배기형 강제통기식 퇴비화 장치에서 가능하며 열회수 방법은 퇴비재료 내부의 열교환 파이프법 및 배기가스의 열교환법 등이 있으나 모두 온실 밖의 퇴비시설에서 열을 간접 취득하므로 발생열 이용율이 낮다. 그러므로 퇴비화 온실내부 지하에 퇴비화 발효장치를 두고 발효시작 후에 암모니아가스의 최대 허용농도 범

위 10-50ppm 이하가 되는 15-21일 이후에 작물을 정식하여 재배하는 것이 바람직하다.

따라서, 본 연구는 동계 시설채소 재배온실의 지중가온과 탄산가스 농도 증대를 유지하기 위하여 온실 내부 지하에 퇴비화 장치를 설치하여 숙성퇴비 제조에 소요되는 42일간 퇴비화하는 동안에 배출가스 내의 발효열과 탄산가스가 온실의 지중온도 상승과 탄산가스 농도 증가에 미치는 영향을 관행 온실과 대조하여 관측분석하였다.

제2절 재료 및 방법

1. 실험장치 개요

실험용 온실은 퇴비화 온실(퇴비구)과 관행 온실(대조구) 2동을 동일한 크기(길이 12.5m, 나비 4.37m, 면적 54.6m2)인 이중 가동 커튼형 플라스틱 온실로서 피복재는 폴리에틸렌 필름을 사용하고 온실 내외부의 지중 열손실을 최소화하기 위해 두께 10cm, 길이 50cm의 스티로폼을 온실 내외부 바닥 경계면에 설치하였다.

퇴비화 장치(그림 2-2)는 퇴비구 내에 콘크리트 측구(나비60cm x 높이 60cm)를 지중에 8m 길이로 3열로 배치하여 6.5m3의 퇴비를 연속, 간헐 통기법에 의한 강제통기식 퇴비화 방식을 사용하였다. 퇴비 발효조 사이의 공간은 발효열의 지중 난방과 배출된 탄산가스 농도가 토마토 작물 생육에 미치는 효과를 실험하기 위해 양토(loam)를 넣었다.

우분과 왕겨 혼합물인 퇴비재료가 호기성 발효를 유지하는데 필요한 산소를 공급하기 위하여 발효구 바닥면 중앙의 세로방향에 직경 4cm의 유공파이프를 설치하고 상부에 직경 5mm의 구멍을 30cm의 간격의 지그재그형으로 배열하여 송풍기에 의해 공기가 공급되도록 하였다. 송풍기는 터보 부로어형 소형고

압팬으로서 통기량은 45m3/hr이며 통기는 타이머의 작동에 따라서 임의로 작동시간과 정지시간을 조정할 수 있도록 하였다.

한편, 퇴비화 초기과정에서 다량 발생하는 암모니아가스를 온실 밖에 배출하기 위해서 배기팬을 설치하였다. 퇴비구와 대조구에 설치한 난방기는 난방능력 83,740kJ, 출력 0.75kW이며 온풍열은 배출구에 비닐덕트를 연결하여 온풍 난방열이 온실공간에 고루 공급되게 하였다.

그림 2-3은 관행 온실로서 퇴비화 온실(퇴비구)의 열 및 가스 환경을 관행 온실(대조구)와 비교하기 위하여 퇴비구와 동일한 형상으로 설치하였으며, 퇴비구의 콘크리트 발효구 대신에 스티로폼을 매설하여 단열효과가 거의 같도록 하였다.

2. 퇴비화 재료 및 실험 방법

퇴비화 재료는 우분과 왕겨의 혼합물(용적비 2:1)로서 초기조건은 수분이 67.8%, 수소이온농도가 8.68, 탄질비가 25.3 등이며, 투입량은 6.5m3(2.6톤)이었으며, 숙성퇴비 제조기간은 42일로서 마치고 온실 환경 요인에 관한 실험기간은 56일로 하였다. 실험에 사용된 작물은 토마토(방울 및 대과종)로서 퇴비화 발효개시 후 다량 발생되는 암모니아가스로 인한 피해를 방지하기 위하여 퇴비화 발효 후 14일째에 토마토 묘종을 이식하였다.

퇴비화 발효조(그림 2-2)는 발효조 바닥에서 7cm의 높이로 왕겨를 깔아 공기가 퇴비재료에 고루 공급되게 하고 그 위에 퇴비재료를 넣어 두었으며, 퇴비화 과정에서 발생하는 암모니아가스 배출과 수분증발을 억제하기 위하여 퇴비재료 위에 8cm의 복토를 하고 발효후 14일간 한시적으로 간이 비닐 터넬을 발효조 상층부에 씌워서 배기가스를 온실 외부로 배출하는 동안 암모니아가스가 온실 내부로 유입되는 것을 최소화시켰다.

송풍기는 퇴비재료 1m3당 통풍량이 87L/min.로 되게 하고 발효온도가 50℃

가 될 때까지 연속통기하고 그 이후에는 5분가동, 55분정지 또는 1분가동, 59분정지하는 간헐통기하여 발효온도를 조절하였다.

퇴비발효조 및 재배지 토양의 관수는 수분 상태를 관측하면서 관정에서 끌어 올린 물을 이중 타이머가 장치된 급수 본관에 공급하여 발효조와 재배지에 연결된 점적 급수지관에 흐르게 하였다. 점적 관수량은 1일 1회 실시하여 1m3당 1.7L의 양을 관수하였다.

온실 내외부의 온도, 습도, 지중 및 지표온도 등의 환경요인과 퇴비재료의 발효온도 등은 각 지점에 온도센서를 온실 내부의 탄산가스농도는 온실 중앙부의 재배지에 센서를 설치하여 일정시간 간격으로 자동기록하였다.

3. 계측시스템의 구성과 환경변수 측정법

퇴비구와 대조구 온실의 열 및 가스 환경변수는 일정간격으로 연속측정하여 자동기록할 수 있는 계측시스템(그림 2-4)으로 구성하였으며 측정점의 위치는 그림 2-2 및 2-3에 나타난 바와 같다. 센서로부터 입력된 아날로그 신호는 개개의 신호처리 장치, 2개의 멀티프렉서와 1개의 16채널 A/D컨버터를 통하여 디지털 값으로 변환되어 컴퓨터에 입력된다. 이 값은 다시 실제의 측정값으로 환산되어 1시간 간격으로 데이터 파일에 저장되도록 하였다. 데이터의 정확성을 높이기 위하여 연속적으로 100회분 값을 입력하여 그 평균을 나타내도록 하였으며, 온실 내외부의 온도와 습도등의 열 환경은 표 3-1과 같다.

(1) 퇴비발효열 온도: 퇴비구의 발효열 온도는 중앙 발효조의 중간점에 Pt센서를 설치하여 측정하였다.

(2) 온실내외의 온습도: 온실 내외의 온도와 습도는 반도체 센서를 설치하여 측정하였다. 온습도 반도체 센서는 4-20mA의 전류신호를 출력한다.

(3) 지표와 지중온도: 발효열 온도 측정에 사용된 센서와 같은 Pt센서를 사용하여 측정하였다.

(4) 탄산가스농도: 온실 한 가운데 지점에서 높이 30cm의 위치에 센서를 설치하여 측정하였다.

제3절 결과 및 고찰

1. 지온상승 효과

그림 3-1의 (a)-(d)는 퇴비화 및 관행 온실의 지표, 지중온도 변화를 퇴비 발효 온도와 비교하여 관측한 결과로서 지중 강제퇴적식 퇴비화 방법에서 발생된 발효열이 지온상승에 미치는 영향을 분석하고져 한다. 퇴비화 온실의 지온상승은 그림 3-1(a)와 같이 퇴비 발효온도(TM5) 상승에 따라 계속 증가하였으며 발효시작 후 7일째에 최고 온도에 도달하였으며 이때의 지표(TBS) 및 지중(TBU2)온도는 각각 30℃, 33℃이고, 그림 3-1(b)에서 주발효가 끝난 후 23일째에 두번째로 높은 28℃와 29℃를 나타내고 있었으며, 발효 25일째에는 지표와 지중온도의 최고 값이 동일하게 되었고 29일째에는 지중온도가 지표온도보다 떨어지기 시작하였다. 그림 3-1(c)에서 후숙이 끝난 42일째에는 발효온도가 25.5℃, 지중온도가 23.3℃, 그리고 지표온도가 22.3℃로 그림 3-1(d)와 같이 일정한 상태를 지속하고 있었다. 따라서, 발효열은 거의 대부분이 주발효기간 21일 이내에 발생되어 지중에 축열되고 있음을 알 수 있었다.

한편, 관행 온실의 지표(TPS)와 지중(TPU)온도의 변화는 그림 3-1의 (a)-(d) 및 표 3-1에 나타난 바와 같이 거의 일정한 상태를 유지하고 있었다. 42일간의 실험기간 중에 2주간씩의 평균 지표(TPS)와 지중(TPU)온도의 범위는 각각 12.7-15.6℃, 14.0-15.1℃의 수준으로 같은기간의 퇴비화 온실의 지표(TBS)와 지중(TBU2)온도 수준인 20.1-22.3℃, 24.4-28.5℃보다도 낮으며 평균 온도차이는 지표온도가 6.7-7.4℃, 지중온도가 10.4-13.4℃를 나타내고 있었다. 또한, 발효가 왕성한 1-2주 동안에는 평균 지중온도가 28.5℃, 42일이 경과한

후숙 후의 지중온도는 24.4℃, 발효후 50일째 부터는 23.3℃로서 일정한 상태를 지속하고 있었다. 퇴비화 온실의 지중온도는 동계 시설채소 재배 지중온도의 최적 수준인 17℃이상을 유지하는 조건에 있었으며, 발효후의 퇴비화 온실 내부기온과 지중온도는 동일한 수준인 24.4-24.5℃로서 작물 생장에 최적 상태를 유지하였다.

2. 탄산가스 농도의 증가

탄산가스는 수분, 빛, 토양 양분 등과 함께 작물생장에 대단히 중요하며 작물 수확량의 증가, 품질개선, 숙성촉진 등에 큰 영향을 미친다. 대기중의 탄산가스 농도는 보통 300-350ppm정도이며 식물이 낮에 광합성 작용으로 탄산가스를 흡수하며 밤에는 호흡작용으로 탄산가스를 방출하므로 낮에는 작고 밤에는 높게된다. 또한, 계절적으로 일사량이 강한 여름철에는 높으며, 겨울철에는 낮다. 일반적으로 온실내에 탄산가스 농도가 300ppm이하로 떨어지면 작물 잎의 광합성작용이 크게 저하되어, 동계 온실재배는 밀폐상태가 많아 탄산가스 부족이 문제가 된다. 토마토재배에 있어서 장시간 탄산가스 시용의 경우에 적정농도는 500-800ppm으로 수확량 증가는 1.3배로 알려져 있다.

그림 3-2(a)와 (d)에서 나타난 바와 같이 퇴비화 온실의 탄산가스 농도(CB)는 퇴비화 발효온도(TM5)에 따라서 변동되고 퇴비화가 끝난 후에는 일정한 상태를 유지하는 것을 알 수 있었다. 그림 3-2(a)에서 발효온도가 가장 높은 6일 사이에 다량의 탄산가스(2500ppm)가 발생되었으나, 다른 주에 비교하여 상대적으로 발생 농도가 낮은 이유는 이 기간에 다량으로 발생되는 암모니아 가스를 온실 밖에 배출하기 위하여 환기를 했기 때문이다. 그림 3-2(a)와 (b)에서 주발효가 끝난 후 22일째에는 최고 2700ppm, 30일째는 2650ppm을 나타내고 있었으며, 그림 3-2(c)에서 퇴비화가 완전히 종결된 42일째 이후에는 756ppm으로 일정한 상태를 나타내고 있었다. 그러나, 관행 온실의 탄산가스

농도(CP)는 같은 기간에 약 440-462ppm범위로 지속되었으며 42일 지난 후에는 그림 3-2(d)에서와 같이 438ppm으로 일정한 상태를 유지하고 있었다.

이와 같은 결과로부터 퇴비화 온실과 관행 온실의 탄산가스 농도의 변화를 정리한 표 3-1에서 퇴비화 발효기간 동안에 퇴비화 온실에서는 782-1154ppm의 탄산가스를 발생하였으나, 같은 기간에 관행 온실에서는 440-462ppm의 범위로서 약 1.7-2.6배의 탄산가스 농도의 차이가 있었다. 작물재배에 적정수준인 500-800ppm이상을 유지함으로써 양호한 작물 생육과 작물 수확량 증대 및 숙성기간 단축등의 효과가 기대되고 있었다.

제4절 결 론

원예시설은 농산물의 생산 및 품질을 개선하고 안정화하기 위하여 여러가지의 자재 및 비품을 조합하여 이루어졌다. 온실의 환경조절기술의 개발을 위하여 퇴비화 온실에서 발생하는 발효열과 탄산가스가 온실 내의 열환경(또는 온도환경) 및 가스환경에 미치는 영향을 관행 온실와 비교 관찰하여 얻어진 결과는 다음과 같다.

퇴비화 온실의 지중온도 변화는 21일간의 주발효기간에는 평균 28.5℃, 40일째의 지중온도는 24.4℃이었다. 발효후 50일 이후부터는 퇴비 발효온도가 25.5℃, 지중온도가 23.3℃로 일정한 상태로서 관행 온실의 지중온도 15.1℃와 8.2℃의 차이를 나타내고 있었다. 한편, 퇴비화 온실의 탄산가스 농도는 전발효기간에 환기손실량을 포함하여 482-1154ppm 이었고 같은 기간에 관행 온실의 경우는 440-462ppm으로 1.7-2.6배의 차이가 있었으며, 발효후에도 퇴비화 온실은 756ppm이며 관행 온실은 438ppm로 발효온도에 따라 일정한 상태를 이루며 1.7배의 차이를 나타내고 있었다.

제4장 퇴비화 발효열의 온실 지중가온에 있어서 열특성과 유효에너지

Thermal Properties and Available Energy for Underground Heating of Plastic Greenhouse by Composting Heat

제1절 서 론

우리 나라의 시설원예와 축산업이 점진적으로 확대되어 에너지 효율 향상이 문제가 되고 있어, 화석 에너지 의존도를 적게하는 에너지 절약 및 환경보전형 시설농업 생산기술의 확립이 필요한 실정이다. 따라서, 미이용 자연에너지 자원인 농축산폐기물의 호기성 처리과정에서 발생되는 퇴비화 발효열 에너지를 석유난방의 보조 열원으로서 온실 지온 상승에 이용하면 동계 시설채소 재배의 비용을 절감하고 고품질의 농산물을 단기간에 다량 수확이 가능하여 농업 경영의 안정화를 기대할 수 있다.

고형 퇴비화 처리에서 발생되는 발열량은 재료, 퇴비화 방법, 발효온도, 발효기간, 측정법 등에 따라 차이가 있으나 발열량은 온도 40 - 70℃에서 퇴비재료 1m3당 100-1000W정도이다. 강제통기식 고형 퇴비화처리에서 주발효기간은 3주간으로서 이때에 60-65℃의 고온에서 급격히 유기물이 분해되어 발생된 발효열은 퇴비재료를 통과한 공기의 온도 상승(현열)과 퇴비 수분의 증발(잠열)로서 구성되며 총 발생열의 60-80%가 주발효기간에 집중적으로 발생되고 있다.

지금까지 퇴비화 발효열 회수기술은 퇴비재료 내부에 순환 파이프 매설법과 배기열 교환법 등이 있으나 열회수율 및 배기와 응축수 내의 암모니아와 유기

산 등의 저해물질로 실용화 보급에 문제가 남아 있다. 따라서, 본 연구는 온실 난방의 생 에너지 대책으로 퇴비화 온실 내부의 작물 상토층 사이에 지하식 강제통기식 퇴비화 시설을 설치하여 발효열이 직접 토양에 전달되게 하고, 주 발효기간에 발생되는 암모니아가스 농도가 허용농도 범위 (10-50ppm)이하를 유지하여 작물생육에 자극을 방지 하고자, 발효개시 후 15-21일째부터 저온성 작물을 재배하는 발효열 지중전열법을 개발 하는데 목표를 두고서, 발효조 상부에서 발생된 배기 엔탈피를 제외한 발효조 벽면으로부터 지중에 방열되는 지중 전열특성과 이용가능한 열에너지량을 산정하는 것이 목적이다.

제2절 재료 및 방법

1. 실험재료 및 퇴비화 방법

퇴비화 재료는 우분과 왕겨의 혼합물(용적비 2:1)로서 퇴비화 재료의 주요 초기조건은 수분이 67.8%, 탄질비가 25.3, 수소이온농도가 8.7 등이었다. 통기 방법은 온실 내의 지하형 강제통기식의 연속 및 간헐 통기법으로 배기 엔탈피를 제외한 발효조 벽으로부터 방열되는 지중전열량과 열특성을 관측하였다. 실험기간은 주발효(3주일), 후숙(3주일) 및 발효조내 저장, 건조(4주)기간동안의 퇴비화 온실의 발효온도와 지온변화를 관행 온실과 비교 분석하였다.

2. 실험장치

퇴비화 온실과 관행 온실은 크기와 형상이 같은 이중커튼형 플라스틱 온실(12.5m L x 4.37m W)로서 피복재는 폴리에치렌 필름(두께 0.1mm)을 사용하고 온실 내외부의 지중열 손실을 최소화하기 위하여 두께 10cm, 길이 50cm의 스티로폼을 온실바닥 내외부의 경계면에 설치하였다.

퇴비화 발효조(8m L x 0.6m H x 0.6m W)는 두께 75mm의 U자형 콘크리

트 開渠로 퇴비화 온실 내의 지하에 그림 2-2와 같은 형상으로 3줄을 0.6m의 간격으로 설치하고 발효조 사이의 공간은 발효열이 지온상승에 미치는 영향을 관측하기 위하여 점질양토를 넣었다. 발효조 내의 퇴비퇴적 높이는 0.45m, 퇴비상부에는 복토층 0.08m, 하부는 왕겨층 0.07m이며 발효조의 초기 투입 퇴비의 용적은 6.5m3(무게 2.6톤)이며 숙성후(발효후 6주째)의 퇴비 용적은 4.9m3 (무게2.0톤)이었다.

발효조 바닥에는 호기성 처리에 필요한 산소를 공급하기 위해 발효조 세로방향에 직경 4cm의 유공 파이프를 설치하고 상부에 직경 5mm의 구멍을 30cm 간격의 지그재그형으로 배열하였다. 송풍기는 터보 부로어형 소형 고압팬으로 통기량 45m3/hr를 타이머로 발효온도에 따라서 연속, 간헐 통기조작을 하면서 공급하였다.

3. 실험방법

발효조로부터 발생된 발효열이 지온상승에 미치는 영향을 관측하기 위하여 발효조 중심부의 퇴비재료 온도, 발효조 내외부의 콘크리트 벽면의 온도, 지중온도등을 일정간격으로 연속측정하여 자동기록할 수 있는 계측시스템(그림 2-4)을 구성하였으며 온도센서로부터 입력된 아날로그 신호는 개개의 신호처리 장치, 2개의 멀티플렉서 및 1개의 16채널 A/D 변환기를 통하여 디지털 값으로 변환되어 컴퓨터에 입력되게 하였고, 데이터의 정확성을 높이기 위하여 연속적으로 100회의 값을 입력하여 그 평균값을 나타내도록 하였다.

4. 측정법

퇴비화 과정에서 발생되는 발효열이 지중에 전달되는 방열량을 산정하기 위하여 퇴비화 온실 지하 30cm의 깊이(그림 2-2과 2-3)에 온도 측정용 Pt센서를 가운데 발효조의 중심부, 콘크리트벽 내부와 외부, 지중에 설치하여 온도의

경시적 변화를 측정하여 퇴비화 온실의 지온을 같은 위치의 관행 온실의 지온과 비교 관측하였다.

5. 산출법

발효조에서 발생하는 발효열의 취득 가능열량은 배기 엔탈피에서 송풍공기 엔탈피를 빼고 남은 열과 발효조 외벽으로 방출된 열량으로 여기서 지온상승에 이용 가능열은 발효조 외벽으로 방출된 열량 뿐이다. 발효조 벽면을 통과하는 전열량은 지중전열량과 동일하므로 열전도 방정식에서 熱流束(W/m2)은 다음식과 같다.

$$q = k1\ dT1/L1 = k2\ dT2/L2 = K3\ dT3/L3 \quad \text{.............(4-1)}$$

위식에서, k1, k2, k3는 열전도계수(W/m℃K), dT1, dT2, dT3는 온도차(℃), L1, L2, L3,는 거리(m)를 나타내며, 첨자 1, 2, 3 등은 각각 퇴비층, 벽면층 및 토양층을 나타낸다.

한편, 발효조 벽면콘크리트(두께 75mm)의 내부 및 외부평균온도(표 4-1)는 26.2℃로서 이때에 열전도계수(k)는 0.56W/m℃K 이며, 벽면(측벽면적:8m L x 0.45m H; 바닥면적:8m L x 0.3m W)으로부터 퇴비와 토양층 30cm 위치의 온도차는 측정 데이터로부터 산출하였다.

발효조 벽면의 온도차, 열전도계수 및 두께 등으로 경과일수별(48시간 단위)로 열유속을 산출하여 70일간의 지중 가열량과 퇴비와 토양의 열전도계수를 간접측정하였다.

표 4-1. **퇴비화 과정중 퇴비재료, 발효조 벽면 및 지중 온도의 변화**

Table 4-1. Temperature changes in compost mass, side wall of digester and underground during composting.

Time (days)	Temperature (oC)				
	TM5	TM4	TBU1	TBU2	TPU
1-2	42.6	34.4	28.3	23.2	14.0
3-4	50.1	42.4	38.1	29.5	14.0
5-6	55.9	42.6	36.0	30.7	14.0
7-8	37.8	39.1	35.8	31.9	14.1
9-10	28.8	32.7	31.6	30.0	13.6
11-12	28.9	28.6	28.1	27.4	14.2
13-14	46.3	30.0	27.5	25.3	14.1
15-16	60.4	37.6	32.0	25.8	13.9
17-18	54.1	39.3	34.4	27.6	13.7
19-20	48.4	35.9	32.3	27.6	13.6
21-22	40.2	32.9	30.3	27.7	14.0
Average during main aeration	44.9	36.0	32.2	27.9	13.9
23-24	28.4	29.0	28.9	28.1	14.3
25-26	33.3	28.2	27.0	26.2	14.4
27-28	32.7	27.2	26.3	25.4	14.0
29-30	30.9	25.8	25.1	24.5	13.9
31-32	31.2	26.0	26.0	25.6	14.8
33-34	29.7	25.7	25.6	25.8	15.6
35-36	28.1	24.7	24.3	24.6	15.7
37-38	26.6	23.6	23.2	23.6	15.4
39-40	25.9	23.0	22.9	23.5	15.1
41-42	25.1	22.4	22.8	23.5	1.9
Average during curing period	29.1	25.6	25.2	25.1	14.8
43-44	25.4	22.8	23.3	24.0	15.3
45-46	25.5	23.0	23.0	23.5	15.6
47-48	25.6	22.7	22.4	23.0	15.7
49-50	25.3	22.6	22.5	23.0	15.9
51-52	25.6	22.7	22.6	23.3	16.3
53-54	25.5	22.5	22.5	23.0	16.1
55-56	25.4	22.7	22.8	23.3	16.2
57-58	25.2	22.6	22.5	23.0	16.4
59-60	25.0	22.4	22.2	22.8	16.6
61-62	24.6	22.2	22.3	22.9	16.3
63-64	24.5	22.4	22.5	22.9	16.3
65-66	23.5	22.0	22.3	22.8	16.3
67-68	23.4	21.9	22.2	22.8	16.8
69-70	23.2	21.8	22.3	23.0	16.8
Average from 43th to 70th day	24.7	22.5	22.5	23.1	16.2

제3절 결과 및 고찰

1. 퇴비 파일 및 발효조 내외부의 온도 변화

실험구 퇴비 발효온도(TM5) 상승이 발효조의 내부 벽면온도(TM4) 및 외부 벽면온도(TBU1)와 지중온도(TBU2)에 미치는 영향을 대조구 관행 온실의 지중온도(TPU)와 비교 관측한 온도 분포 곡선은 그림 4-1 (a)-(e)에 나타난 바와 같다.

재료 퇴적 직후부터 연속통기 하였더니 4-6일째에 최고 60℃에 도달후에 급속히 온도가 저하되었다. 따라서 12시간 정지후에 다시 8일째에 연속통기를 했더니 역시 과다한 산소공급으로 냉각되었다. 10일부터는 5분가동, 55분정지로서 간헐통기하였더니 서서히 온도가 상승하여 14일째에 최고 63℃에 도달한 후 완만하게 온도가 저하되기 시작하여 주발효가 완료되는 21일째부터는 40℃에 도달되었다. 여기서 다시 연속통기를 시험했더니 급격히 온도가 떨어지는 현상을 보였다. 다시 간헐통기를 하였더니 온도가 상승하여 25일째에 33℃에서 후숙이 종료되는 42일째는 26℃를 나타내고 발효 후 70일째에는 23℃로서 일정한 상태를 유지하고 있었다.

한편 표 4-1에서 주발효기간의 평균온도는 45℃이고 후숙 기간의 평균온도는 30℃이었다. 주발효기간의 발효조 내부와 외부 벽면의 온도는 36℃와 32℃로서 퇴비재료와 벽면 내부의 온도 차이는 9℃이며 벽면 양면의 온도차는 4℃이고 후숙 기간의 경우는 각각 4℃와 0.4℃ 차이가 있었으나 발효 후 70일째에는 퇴비재료와 벽내부 온도는 2℃ 차이가 있었으나 벽면 내외부의 온도차이는 없었다. 또한, 퇴비파일 내부온도와 퇴비구의 평균지온값은 주발효기간에는 45℃와 28℃로서 17℃의 차이를 보였고, 후숙기간에는 30℃와 25℃로서 5℃의 차이를 보였으나, 발효후 70일째는 24℃와 23℃로서 거의 같은 온도를 보였다.

이와 같은 결과로서 발효후 70일째 이후부터는 퇴비재료와 지중온도가 동일한 수준으로 퇴비화 발효열 발생이 없다는 사실을 알 수 있었다.

2. 퇴비화 온실 및 관행 온실의 지온차이

표 4-1에서와 같이 퇴비구 지온(TBU2)과 관행구 지온(TPU)은 주발효기간(3주간)에는 각각 28℃와 14℃로서 14℃의 차이를, 후숙기간(3주)에는 25℃와 15℃로서 10℃의 차이를, 후숙 이후부터 발효후 70일째까지는 23℃와 16℃로서 7℃의 차이를 나타내고 있었다.

이와 같은 결과로부터 퇴비구 지온온도는 작물재배 생육적온 최저한계온도인 17℃이상을 유지하여 줌으로써 발효열이 작물 뿌리 환경에 좋은 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

3. 열전도계수의 변화

퇴비화 재료및 토양의 열전도계수의 간접 산출결과는 표 4-2와 같으며, 주발효, 후숙 및 발효후 70일째의 퇴비의 기간 평균 열전도계수는 각각 1.68W/m℃K, 0.26W/m℃K, 0.36W/m℃K이고 토양의 경우는 각각 1.99W/m℃K, 1.71W/m℃K, 1.11W/m℃K이며 이때의 퇴비 수분은 68%에서 53%로 변화되고, 온도는 63℃에서 23℃로 변동되고 있었으며, 토양의 경우는 수분이 30-40%이고 온도는 32℃에서 23℃의 범위에 있었다.

이와 같은 결과로부터 주발효기간의 열전도계수가 가장 크며 퇴비는 토양보다 전열특성이 저조하며, 온도와 수분의 감소에 따라 열전도율이 크게 저하된다는 사실을 알 수 있었다.

4. 유효 지중 난방열량

발효조로부터 발생되는 방열량은 발효조 상부로부터 배출되는 배기 엔탈피

표 4-2. **퇴비화 재료의 온도차이, 열특성 및 유효열 에너지**

Table 4-2. Temperature difference, thermal properties and available heat of composting materials.

Time (days)	Temperature difference (oC)			Thermal conductivity (W/m.oK)		Heat flux q(W/m2)	Heat transfer Q(M/J)
	dT1	dT2	dT3	k1(Compost)	k3(Soil)		
1-2	8.1	6.2	5.1	1.7	2.7	45.9	66.7
3-4	7.6	4.3	8.6	1.3	1.1	32.4	47.0
5-6	13.3	6.6	5.3	1.1	2.8	49.3	71.6
7-8	-1.3	3.3	3.9	5.7	1.9	24.4	-35.34
9-10	-3.9	1.1	1.6	0.6	1.5	8.1	-11.9
11-12	0.3	0.56	0.7	5.0	1.8	4.2	6.1
13-14	16.3	2.4	2.2	0.3	2.5	18.2	20.4
15-16	22.8	5.6	6.1	0.6	2.1	41.2	60.8
17-18	14.8	4.8	6.8	0.7	1.6	36.2	52.5
19-20	12.5	3.6	4.7	0.7	1.7	27.1	39.4
21-22	7.3	2.6	2.6	0.8	2.2	19.1	27.7
Average for main aeration	8.9	3.7	4.3	1.7	2.0	27.9	* 350.8
23-24	-0.7	0.1	0.8	0.5	0.4	1.1	-1.5
25-26	5.2	1.1	0.8	0.5	3.1	8.5	12.4
27-28	5.5	0.9	0.9	0.4	2.2	6.7	9.8
29-30	5.1	0.7	0.6	0.3	2.8	5.4	7.8
31-32	5.1	0.0	0.4	0.0	0.1	0.2	0.2
33-34	4.0	0.1	-0.2	0.1	1.2	0.7	1.0
35-36	3.4	0.4	-0.4	0.3	2.5	3.1	4.4
37-38	3.0	0.4	-0.4	0.3	2.6	3.1	4.4
39-40	3.0	0.1	-0.6	0.1	0.4	0.8	1.2
41-42	2.7	-0.4	-0.7	0.3	1.2	2.8	4.0
Average for curing period	3.6	0.3	0.1	0.3	1.7	3.2	* 43.7
43-44	2.6	-0.5	-0.7	0.5	1.6	4.0	5.8
45-46	2.5	0.0	-0.5	0.0	0.0	0.1	0.1
47-48	2.9	0.3	-0.6	0.2	1.0	2.1	3.0
49-50	2.7	0.0	-0.5	0.1	0.5	0.8	1.1
51-52	2.9	0.1	-0.7	0.1	0.4	0.8	1.2
53-54	3.0	0.1	-0.6	0.0	0.2	0.5	0.6
55-56	2.8	-0.1	-0.5	0.1	0.5	0.8	1.2
57-58	2.6	0.1	-0.5	0.1	0.4	0.8	1.1
59-60	2.6	0.2	-0.5	0.2	0.7	1.3	1.8
61-62	2.4	-0.2	-0.5	0.2	0.8	1.2	1.7
63-64	2.1	-0.1	-0.5	0.5	2.2	3.5	5.1
65-66	1.5	-0.3	-0.5	0.4	1.1	1.9	2.8
67-68	1.5	-0.3	-0.7	0.4	0.9	2.0	2.9
69-70	1.4	-0.5	-0.7	0.8	1.7	3.9	5.6
Average from 43th to 70th day	2.0	-0.1	-0.6	0.4	1.1	1.7	* 34

* These values represent total heat transfer for each period.

에서 송풍기 엔탈피를 공제한 열과 발효조 벽면으로부터 발생되는 열이 있으나 지중 가온에 미치는 열은 발효조 측면과 저부로부터 방출되는 열량 뿐이다. 표4-2는 퇴비화 기간(48시간별)의 발효열량을 산정하기 위하여 퇴비와 발효조 내벽면 온도차이(dT1), 발효조 내외부면 온도 차이(dT2),발효조와 지온 차이(dT3)를 관측하여 열전도 방정식으로부터 열전도계수, 열유속, 통과열량 등을 발효조(0.45m H x 0.3m W x 8m L; 퇴비량:1.08m3)의 중앙 단면으로부터 산출한 결과이다. 주발효, 후숙 및 발효후 43-70일 사이의 기간 평균 열유속은 각각 27.9W/m2, 3.2W/m2, 1.7W/m2 이며 같은 기간 동안의 총방열량은 350.8MJ, 43.7MJ, 34MJ로서 70일간 총 지중방열량은 428.5MJ이 되었다. 발효열은 주발효기간에 총 발열량의 82%가 집중적으로 발생되었다.

그러므로, 70일간에 퇴비량 1.08m3에서 발생열량이 428.5MJ이므로 퇴비화 온실(54.6m2)의 퇴비량 6.48m3(2.6톤; 10a 면적에 이용퇴비량)로부터 취득가능한 발효열은 2,571MJ가 된다. 그러나, 실제적으로 작물재배 지온에 이용가능한 열량은 상층부의 복토층을 통하여 빠져나간 열량을 제외한 1,714MJ로서 67%가 지중가온으로 활용될 수 있었다. 그러므로, 70일 동안에 퇴비재료 1m3당 지온난방에 취득가능 열량은 397MJ이며 유효 열량은 265MJ로 나타났다.

제4절 결론

퇴비화 온실에서 발생되는 발효열을 지중난방에 보조에너지로서 활용하기 위한 연속, 간헐 통기법에 따른 강제통기식 지하형 퇴비화 장치에서 발효조 벽면으로 방열되는 열량은 주발효기간에 82%가 집중적으로 발생되고 있었으며 70일간 발효처리할 때에 취득가능한 지중난방열은 퇴비재료 1m3당 397MJ이고 유효열량은 265MJ이었다.

퇴비재료인 우분과 왕겨의 혼합물의 열전도계수는 주발효기간에 1.68W/moK이고 후숙기간에 0.26W/moK이며 토양의 경우는 각각 1.99W/moK와 1.71W/moK로서 주발효기간이 높고 퇴비가 토양보다 낮았다.

퇴비화 온실과 관행 온실의 지온변화는 주발효(1일-21일)기간에는 28oC와 14oC로서 14oC 차이를, 후숙기간(22일-42일)에는 25oC와 15oC로서 10oC의 차이를, 발효시작후 70일째는 23oC와 17oC로서 6oC의 차이를 나타내고 있었다.

퇴비화 온실에서 퇴비파일 내부온도와 지중온도의 평균온도는 주발효기간에 45oC와 28oC로서 17oC의 차이를, 후숙기간에 30oC와 25oC 로서 5oC차이가 있었으나 발효후 70일째에는 24oC와 23oC로서 거의 같은 온도로 일정하게 유지되고 있어 발효열 발생이 없었다.

제5장 시간 조절 방식에 의한 강제통풍 퇴적퇴비화 처리

Aerated Static Pile Composting Using Time Based Control System

제1절 서 론

농축산폐기물의 고형퇴비화 과정에서 발생되는 발효열 에너지는 보조열원으로서 온실의 지온상승에 미치는 영향이 커서 동계 시설채소 재배에 있어서 저비용, 고수익 작물생산에 기대효과가 크다.

강제통기식 퇴적퇴비화 방식은 퇴비재료의 교반작용 없이 파일내부의 온도변화에 따라서 연속 또는 간헐통기 작용으로 취기를 감소시키고 발효기간을 단축하면서 양질의 퇴비를 생산할 수 있다.

양호한 호기성 퇴비화 처리는 재료수분, 탄질비, 고형물 농도, 발효온도, 통기량, 수소이온농도, 재료의 입경, 퇴적물의 크기 등에 따라 영향을 받으나 가장 중요한 요인은 재료 수분과 통기량의 조절이다.

일반적으로, 재료 입경이 작은 오니 케이크는 수분이 40-45%가 적절하나, 비교적 재료 입경이 큰 축분과 왕겨등의 혼합물은 수분이 65-70%가 바람직하며, 통기량은 퇴비재료 1m3당 0.05 - 0.1m3/min.가 적정 수준이나 재료의 교반 없이 연속통기하면 발효후 7일째에는 과다한 공기의 공급으로 인하여 발효온도가 급격히 떨어져 냉각현상이 발생되므로 퇴적물의 단면 크기에 따라서 타이머 또는 온도 센서에 의한 간헐 통기 방법으로 주발효 및 후숙과정을 거쳐야 된다.

따라서, 본 연구는 퇴비화 발효열 에너지를 온실의 지중난방에 활용할 계획으로 간헐 통기법의 퇴적퇴비화 장치를 온실 내부의 지하에 설치해 두고서 일정한 재료의 수분과 통기량 조건하에서 통기 작동시간 조절방식의 간헐통기법으로 5분 통기, 55분 정지하는 타이머로서 통기량을 조절하면서 완숙 퇴비를 생성하는 전 발효기간 동안에 퇴적 파일 위치별 발효온도의 변동과 퇴비재료의 이화학 성질 등을 관측 평가하여 강제 통기식 퇴적퇴비화 처리작업의 효율을 개선하는데 목적이 있다.

제2절 재료 및 방법

1. 실험 재료

간헐통기법에 따른 강제통풍식 퇴비화 처리에서 부숙 진행과정을 비교 검토하기 위한 실험재료는 유우분뇨와 왕겨의 혼합물로서 수분이 65-70%수준을 유지하기 위하여 발효조(그림 5-1)별로 수분을 달리하여 D1의 발효조는 우분과 왕겨의 혼합 용적비가 1.5 : 1로서 수분이 70%를 유지하게 하고 D2와 D3의 발효조는 혼합비를 2 : 1로 하여 수분이 66%가 되게 하였다. 실험기간은 1996. 1. 13부터 1996. 3. 22까지 70일 동안에 걸쳐서 수행되었으며 이 기간 중 퇴비화 진행과정을 분석하기 위한 퇴비파일 내의 온도변화는 42일간 측정하였으며, 퇴비재료의 성분은 70일간의 변화상태를 측정하였다.

2. 실험장치 및 방법

퇴비화 실험장치의 개요는 그림 2-2에 나타난 바와 같으며 온실(면적:12.5m x 4.37m =54.6m2)내부 지하에 설치한 발효조(단면:8mL x 0.6mH x 0.6mW)의 두께는 75mm의 U자형 콘크리트 개거로서 0.6m의 간격으로 3줄의 발효조를 설치하고 이들 사이에는 점질양토를 채웠다. 발효조 내부 하부에는 7cm의

왕겨층이며 그 위에 45cm의 퇴비재료를 퇴적하고, 퇴비재료 상부에는 복토층 8cm를 두었다.

발효조 바닥에는 투입된 퇴비재료가 호기성 발효를 지속하는데 필요한 산소를 적절히 공급하기 위하여 바닥면 중앙의 세로방향에 직경 4cm의 유공 염화비닐 파이프를 설치하고 그위에 직경 5mm 구멍을 30cm의 간격으로 지그재그 형태로 배열하고 송풍기는 터보브로어형 소형 고압팬(통기량: 퇴비재료 1m3당 87L/min)과 타이머 조작으로 간헐통기하여 공기를 공급하였다. 간헐통기 조작법은 발효시작후 7일까지는 연속통기하고 그 이후 부터는 일정 통기량을 발효온도에 따라 정지(NA), 연속(CA), 간헐(IA5: 5분작동, 55분정지; IA1: 1분작동, 59분정지)등의 순서로 조작하였다.

퇴비재료 상부와 복토층 사이에는 퇴비재료가 발효중에 과도한 수분증발로 인한 발효억제 현상을 방지하고자 점적관수 파이프를 설치해놓고, 파일내부의 재료수분 상태를 관측하여 수분이 40% 이하가 될 때에 타임스위치로 1일 1회 15분간 1m3당 17L의 물을 공급되게 하였다. 물의 공급(WS) 시기는 발효후 23일째부터 하였다.

한편, 발효조 상부에서 배출되는 배기가스 중의 암모니아가스를 배출하기위해 발효조 위에 가스 배기관을 온실 외측의 배기팬과 연결한 후에 발효조 상부 전면을 턴넬형 비닐 피복재로 밀봉하였다. 배기팬은 암모니아가스 발생이 많은 발효후 15일간 작동하였다.

실험 방법은 발효조 D1 및 D3의 종단면상 3점의 퇴비파일 내부온도 변화와 각개 발효조(D1, D2, D3)의 중앙 횡단면상의 3점의 전 발효 기간의 온도변화 추이를 관측하고 7일 간격으로 전체 퇴비재료의 이화학적 성분 변동을 측정하여 강제통기식 퇴비화 처리 효율에 미치는 영향을 주발효(45oC 이상)와 후숙기간으로 구분하여 평가하였다.

3. 측정방법

퇴비파일 내부의 온도변화는 발효조 중앙 상부에서 30cm의 깊이에 센서를 설치하여 일정간격으로 연속측정하여 자동기록할 수 있는 계측 시스템(그림 2-4)으로 구성되었으며 측정점의 위치는 그림 5-1에 나타낸 바와 같다. Pt센서로부터 입력된 아날로그 신호는 개개의 신호처리장치, 2개의 멀티프렉서와 16채널의 A/D컨버터를 통하여 디지털 값으로 변환되어 컴퓨터에 입력된다. 이 값은 다시 실제의 측정치로 환산되어 1시간 간격으로 데이터 파일에 저장되도록 하였다. 데이터의 정확성을 높이기 위해 연속적으로 100회의 값을 입력하여 그 평균값을 나타내도록 하였다.

퇴비재료의 이화학적 특성 변화는 7일간격으로 전체 발효조에서 5점의 시료를 채취 분석하여 평균한 값으로 측정 항목은 수분, 수소이온농도, 탄질비, 유기물량 등이며 측정방법은 다음과 같다.

(1) 수분은 시료를 채취하여 건조기에서 105℃로 24시간 건조후 중량법으로 산정하였다.

(2) 수소이온농도는 시료 30g을 증류수 150ml와 혼합하여 저어주면서 초자전극법으로 측정하였다.

(3) 탄질비는 CHN 분석기로 분석한 총탄소와 총질소로부터 산정하였다.

(4) 유기물량은 건조시료를 전열로에서 600℃로 8시간 회화시킨 후 중량법으로 계산하였다.

제3절 결과 및 고찰

1. 주발효기간의 발효온도 변화

퇴비파일 내부의 온도변화는 주발효기간에 45-60℃의 적정온도를 최적 범위로 할때에 그림 5-2, 5-3 및 5-4에서 발효후 20-22일째가 된다.

그림 5-2 (a)-(c)에서 D1의 발효조로부터 연속통기 10일째까지의 온도 분포에서 5-6일 사이에 최고 70oC를 유지하고 공기 공급의 과다에 의하여 냉각되는 현상을 나타내고 있었다. 간헐통기 시점 11일째부터는 서서히 증가하여 18일째에 TM5와 TM7의 온도는 각각 62oC, 66oC 나타내고 있었으나 TM1은 21일째에 57oC를 보였다.

그림 5-3 (a)-(c)에서 D3의 발효조에서는 연속통기 10일째까지에서 보면 4-5일사이에 최고 온도가 TM2, TM6 및 TM8의 온도는 각각 52oC, 64oC, 63oC를 나타내고 있었다. 11일째부터 간헐통기 이후의 온도는 13일째에 TM8에서 최고 68oC를, TM6가 16일째에 64oC를, TM2가 16일째에 54oC를 보였다.

그림5-4 (a)-(c)의 발효조 중간점에서 연속통기 10일사이의 온도변화를 보면 4-6일 사이에 최고온도는 TM5가 최고 60oC를, TM6은 63oC를, TM3은 70oC를 나타내고 있었다. 11일 이후의 간헐통기에서는 TM5가 14일째에 62oC를, TM6가 16일째에 64oC를, 그리고 TM3은 18일째에 66oC를 나타내고 있었다.

이와 같이 주발효기간의 연속통기와 간헐통기 과정에서 발효온도변화로서 알 수 있는 사실은 수분이 약간 많은 발효조 D1의 TM1, TM3, TM7 및 통기저항손실이 없는 TM2에서 유기물 분해가 완만한 상태를 보여 재료수분과 공급공기량이 발효온도에 변화에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다.

2. 후숙기간의 발효온도변화

발효온도가 45oC이하인 22일 이후부터 온실내 공기의 온도와 같게 되는 42일째 사이의 후숙기간 동안의 온도 분포는 그림 5-2, 5-3 및 5-4에 나타낸 바와 같다.

후숙기간의 발효온도는 대체로 42일째에 안정화되고 있었으며 이때에 발효온도는 공기온도와 같은 상태인 25oC를 이루고 있었다. 발효조 D1의 TM1은

수분의 과다와 통기저항 손실로 인하여 30일째에 주발효가 끝나고 있었으며 40일째에 안정화 되고 있었다.

3. 퇴비화기간별 평균온도 분포

발효조 횡단면상의 A, B, C 측선상의 기간(2일간)별 평균온도 분포는 표 5-1에 나타난 바와 같다.

표 5-1에서와 같이 연속통기의 주발효기간에 있어서 온도분포는 3-4일째에 49℃를 보이고, 5-6일째에는 57℃를 보이고 있으나, 간헐통기 이후의 주발효 과정에서는 13일부터 28일까지 45-65℃의 범위 를 이루고 있는데 대체로 17일부터 20일 사이에 48-49℃를 나타내고 있었다.

이와 같은 사실로부터 주발효기간의 연속통기가 간헐통기에 비하여 단기간에 급속히 유기물이 분해되고 있다는 것을 알 수 있었다.

발효 21일 이후부터 42일째까지의 후숙기간의 온도변화는 44℃에서 25℃로 점차 감소되어 공기의 온도와 일치되어 안정화 상태를 유지하여 후숙과정이 끝났다.

4. 퇴비재료의 화학적 성분변화

표 5-2는 퇴비재료의 발효전, 발효후(3주일) 및 후숙후(6주일)의 변화 상태를 수분, 수소이온농도, 탄질비 및 유기물량 등으로 구분하여 나타낸 것이다.

수분의 변화는 발효전 혼합재료 수분이 67.8% 로 퇴비화에 적합한 수분이었으며, 3주일 이후부터는 수분이 크게 감소하여 점적 관수하여 61% 수준으로 유지하였더니 후숙후에 54% 상태를 나타내고 있었다.

수소이온농도는 초기 혼합물에서 8.67, 발효후에 8.53, 숙성퇴비의 경우에 7.33으로 변화되고 있었으며 발효시작 2주일 후부터는 떨어지기 시작하여 6주일째에는 7.3정도로 안정화되어 중성화되고 있었다.

표 5-1. **위치별로 측정한 2일 동안의 퇴비화 평균온도**

Table 5-1. Average composting temperatures for each 2 days at various points.

Time (days)	A			B				C			Total average
	TM1	TM2	Avg.	TM3	TM5	TM6	Avg.	TM7	TM8	Avg.	
1-2	39.0	37.2	38.1	41.5	42.6	47.2	43.8	37.0	41.0	39.0	40.3
3-4	49.7	42.4	46.0	51.7	50.1	54.8	52.2	45.7	54.0	49.8	49.3
5-6	61.5	47.4	54.5	62.6	55.9	57.9	58.8	57.2	58.1	57.6	57.0
7-8	36.1	32.4	34.2	38.0	37.8	39.8	38.6	32.3	41.2	36.8	36.5
9-10	23.4	24.9	24.1	26.2	28.3	29.4	28.1	22.2	34.1	28.2	26.8
11-12	21.9	27.0	24.5	24.8	28.9	27.7	27.1	22.3	39.1	30.7	27.4
13-14	24.1	37.1	30.6	28.5	46.3	35.3	36.7	27.4	64.9	46.1	37.8
15-16	23.7	50.3	37.0	30.9	60.4	55.2	48.8	30.4	62.9	46.7	44.2
17-18	24.1	51.9	38.0	48.5	54.1	61.4	54.7	46.4	53.7	50.1	47.6
19-20	28.6	51.2	39.9	64.5	48.4	54.9	55.9	57.4	46.9	52.1	49.3
21-22	44.9	44.2	44.6	52.3	40.2	48.1	46.9	41.8	38.3	40.0	43.8
23-24	33.9	33.9	33.9	31.1	28.4	32.0	30.5	24.6	29.2	26.9	30.4
25-26	55.0	32.8	43.9	33.1	33.3	32.1	32.9	29.3	34.3	31.8	36.2
27-28	53.2	30.2	41.7	33.1	32.7	30.1	31.9	30.0	35.4	32.8	35.5
29-30	43.0	26.5	34.7	33.5	30.9	27.4	30.6	30.6	32.9	31.8	32.4
31-32	35.6	25.7	30.7	33.9	31.2	27.6	30.9	32.6	29.5	31.0	30.9
33-34	32.4	25.9	29.2	32.1	29.7	28.5	30.1	33.2	29.8	31.5	30.3
35-36	29.8	24.9	27.3	30.5	28.1	27.2	28.6	31.8	28.2	30.0	28.6
37-38	27.5	23.1	25.3	28.9	26.6	25.3	26.9	29.8	26.3	28.0	26.8
39-40	27.0	22.3	24.6	28.3	25.9	24.3	26.2	28.6	25.4	27.0	25.9
41-42	26.5	21.5	24.0	27.6	25.1	23.5	25.4	27.6	24.4	26.0	25.1

표 5-2. 강제통기식 퇴비화 과정중 화학적 성분의 변화

Table 5-2. Changes in chemical properties during aerated static pile composting.

Time (weeks)	Moisture content (% wb)	pH (1:5H2O)	C/N ratio (-)	Volatile solids (%, TS)
0	67.8	8.67	25.3	81.1
1	68.6	8.99	28.2	76.6
2	64.6	8.80	26.5	75.3
3	61.0	8.53	25.9	74.4
4	61.6	7.88	22.6	72.1
5	34.8	7.81	22.2	71.2
6	53.6	7.33	19.2	66.3

탄질비는 초기조건에서 25.3이고 주발효 종료 시점인 3주째에는 25.9이며 후숙후의 숙성퇴비에서는 19.2로서 통상적인 부숙도 판정의 지표가 되는 20이하 수준에 도달하였다.

유기물량은 초기재료에서 81.1% 이었으나 발효후에는 74.4%를 숙성후에는 66.3%로 변화되고 있었다.

이와 같은 화학적 성질과 발효온도의 변화를 볼 때에 본 퇴비는 작물에 시용이 가능한 완숙퇴비 조건을 갖추고 있는 것으로 판단되었다.

제4절 결 론

퇴비재료의 혼합 교반 작업이 없는 강제통기식 퇴비화 처리 방법에서 연속통기 주발효가 끝나는 6일째부터 퇴적 파일의 발효온도를 45-60℃이내로 유지하도록 간헐통기하는 것이 중요하다.

간헐통기과정의 주발효 온도 분포는 재료의 수분과 배관내 통기저항손실 차이에 영향을 받으므로 균일한 수분 유지와 통기저항손실을 최소화해야 균일한 퇴비를 얻을 수 있다.

연속통기의 주발효 온도분포는 발효후 3-6일째에 유효평균온도 49-57℃를 나타내고 있었으며, 간헐통기의 주발효 온도분포는 발효후 17-20일째에 유효평균온도 48-49℃를 나타내고 있었으며, 후숙과정 발효온도는 발효 21일 이후부터 42일째 사이에 44℃에서 26℃로 변화되어 실온의 공기온도와 같은 상태에서 안정화를 이루어 발효를 끝내고 있었으며 이때의 화학적 성질은 완숙 퇴비 조건의 범위 내에 있었다.

제6장 정치퇴적식과 강제통기식 퇴비화방식의 화학적성분 변화

Variation of Chemical Components during Static Windrow and Aerated Static Pile Composting Method

제1절 서론

최근 유제품 및 육류소비량이 늘어남에 따라 가축의 사육두수의 급격한 증가와 함께 가축분뇨의 발생량도 95년 기준으로 44,409천톤에 달하고 있다. 또한 한우나 젖소에서 배출되는 분뇨의 양은 전체의 61%를 상회하고 있으며 발생하는 가축분뇨가 누적되면서 환경오염원으로 부각되어 새로운 사회적인 환경오염문제를 야기시키고 있고 이들의 이용처리문제가 다각적으로 연구되고 있다.

농업은 본래 재순환계를 이용한 산업으로 최근의 영농방식을 감안할 때 가축분뇨는 양호한 유기질비료원으로 적절한 처리공정을 거쳐 재활용하는 것은 바람직하며 토양비옥도나 농업생산성 제고 및 환경친화형 농업의 구현차원에서도 꼭 필요하다.

가축분뇨를 퇴비화하는 방법은 혐기적방법과 호기적방법으로 나눌 수 있으며 후자는 전자보다 부숙온도가 높아 부숙기간이 단축되고 퇴비화과정 중 유해물질의 발생이 적은 장점이 있다. 일반적으로 알려진 퇴비화방식에는 개방형과 폐쇄형 있는바, 개방형은 교반 또는 퇴적방식이 있고 폐쇄형은 공기공급방식에 따라 통기교반식(In-vessel)과 강제통기식(Aerated static pile) 등으로 구분된다. 최근 통기교반식은 수분이 다소 많은 상태에서도 발효가 가능하며

충분한 산소공급으로 퇴비화를 촉진시키며 부숙기간의 단축, 발효열과 탄산가스 이용 및 탈취처리 등에 효과적일 수 있으나 다음과 같은 이유로 인하여 더 많은 개선이 필요하다.

강제통기식 퇴비화장치는 통기관 등을 통해서 통풍하거나 흡인하는 방식의 연속통기법 등이 있다. 연속통기방식은 퇴비발효온도가 균일하지 못하고 통기관 주위의 냉각현상으로 인하여 살균처리에 충분한 발효온도(55- 60℃)의 범위를 도달치 못하고 또한 주발효기간 21일 동안에 악취발생이 문제가 되고 있다. 그러므로, 간헐통기방식으로 강제통풍처리하여 통기작용이 정지된 상태에서 발효온도를 균일화하여 연속통기법에 의한 문제를 해결하는 것이 중요하다.

한편 연속통기와 교반작용을 병용하는 방식이 있으나 악취발생이 문제가 되며 강제흡인 통기방식은 응축수발생이 문제가 되고 있다. 이러한 냉각, 탈취 및 응축수 등의 제현상을 억제하고 퇴비화 처리과정의 발효열, 탄산가스 등을 이용하고 암모니아가스의 휘산을 줄이기 위해서는 연속교반 통기법보다는 발효온도에 따른 간헐통기법의 도입이 필요하다. 그러므로, 관행의 자연통기의 정치퇴적식 퇴비화 처리 및 간헐통기 퇴적식의 퇴비화과정에서 유기물 성분의 변화와 안정화를 이루는데 소요기간과 성분 변화량을 비교분석하여 그 차이점을 구명하는 것이 중요하다.

따라서, 본 연구는 퇴비화처리 과정의 부산물인 발효열, 탄산가스 등을 시설채소 재배에 활용하기 위하여 통기시간 조정에 따라 간헐적으로 공급해 주는 강제통기식 퇴비화방식과 플라스틱 온실 외부에 전통적인 정치퇴적식 퇴비화방식에서 화학성분의 안정화 기간과 변동 등을 비교분석하여 합리적인 퇴비화온실의 실용화기술 보급에 기초자료로 활용하는데 그 목적이 있다.

제2절 재료 및 방법

1. 실험재료

실험에 사용한 재료는 실제 비육우농가에서 공급받은 우분에 기존에 혼합된 왕겨를 포함하여 우분과 왕겨의 용적비율이 2 : 1이 되도록 조절하여 사용하였으며 그 재료의 화학적 특성은 표 6-1과 같이 수분은 67.8%로 퇴비화에 충분한 함량이며 pH값은 8.7, 탄질비는 25.3 등으로 부숙화조건에 벗어나나지 않는 조성이었다.

표 6-1. 퇴비화 재료의 화학적 성분 조성

Table 6-1. Chemical properties of raw materials for composting.

Moisture content (%)	pH (1:5H2O)	T-N* (%)	TOC** (%)	C/N	P2O5 (%)	K2O (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na2O (%)	Inorganic N(ppm) NH4+	Inorganic N(ppm) NO3-	Ash (%)
67.8	8.68	1.78	45.06	25.3	1.81	2.94	8.85	1.12	0.70	2,223	7	18.9

*T-N : Total nitrogen, **TOC : Total organic carbon

2. 실험장치

퇴비화 실험장치는 앞절의 그림 2-2에서와 같이 플라스틱 온실 내의 지하에 콘크리트 구조물을 묻고 퇴비재료를 넣어 강제통기한 강제통기식과 플라스틱 온실 밖에 설치한 정치퇴적식으로 구분하였다. 강제통기는 터어보 부로어형 고압팬으로 발효조 바닥면에 직경 4cm의 유공파이프를 통해서 퇴비재료 1m3

에 분당 87L가 공급되도록 하고 적정 부숙화온도를 유지할 목적으로 부숙개시 후 퇴비 중의 온도가 50℃까지는 연속통기하고 그 이후는 간헐통기(5분 통기/55분 정지, 1분 통기/59분 정지)로 하였다. 또한 퇴비화과정 중 수분의 증발량을 보충하기 위해 타이머가 부착된 관수파이프로 점적관수하였다.

3. 조사항목과 분석방법

퇴비화과정 중의 일반적인 화학적 조성변화를 조사하기 위해 1주일 간격으로 시료를 채취하여 분석하였으며 조사항목은 표 6-1의 시험전 재료의 조성과 동일하며, 조사분석방법은 농촌진흥청 토양화학분석법에 준하여 수분은 중량법, pH는 초자전극법, 회분은 전기로에서 회화하여 중량법으로 측정하였으며, 총탄소(T-C)와 총질소(T-N)는 CHN분석기를 이용하였고, 그 외의 성분은 습식분해한 후 인산은 vanadate법, 무기 양이온은 원자흡광법으로 분석하였고, 퇴비중의 암모니아태 질소와 질산태 질소는 침출하여 semi-micro kjeldahal 법으로 분석하였다.

제3절 결과 및 고찰

정치퇴적식과 강제통기식의 수분, 인산 및 기타 무기물의 변화는 표 6-2에서와 같고, 수소이온농도(pH), 전탄소, 전질소, 탄질비, 조회분 및 잔존유기물의 경시적 변화는 그림 6-1에 나타낸 바와 같다.

1. 수분의 변화

먼저 수분의 경우 퇴비화 개시후 2주까지는 비슷하게 완만한 감소를 보여 65%수준을 보였으나 3주 조사시는 정치식에 비해 강제통기방식에서 통기로 인해 다소 낮아지면서 차이를 보이기 시작하였고 10주후에는 정치퇴적식과

강제통기식에서 각각 57.7%와 52.5%로 강제통기식이 더 낮은 수분함량을 보였다. 여기에서 정치퇴적식은 완전히 개방된 상태였기 때문에 강우, 강설과 같은 외부환경에 의해 영향을 받을 수 밖에 없었고, 강제통기식의 5주째 조사치가 46%로 낮은 것은 점적관수시스템에 문제가 있었던 것으로 생각되었다.

2. 수소이온농도(pH)

퇴비재료의 초기 pH값은 8.7 수준으로 일반적으로 퇴비재료의 부숙조건을 벗어나지는 않으나 상당히 높은 수준이었다. pH와 암모니아는 상호 의존적이며, 암모니아화작용은 부숙작용이 활발하게 일어나는 동안에 특이한 pH값 상승이 나타났고, 부숙초기에 재료중의 아미노화합물로부터 암모니아화작용이 진행되어 proton sink로 작용하기 때문에 pH값이 증가하여 치상 후 1주와 2주 조사시는 pH 9.0 수준에 달한 후 점차 감소하였다. 퇴비화 개시 3주 후부터는 퇴적방식에 따라 차이가 나기 시작하여 정치퇴적식은 2주까지는 초기보다 높게 유지하다가 3주째는 pH 8.19로 떨어져 그 이후 완만한 감소로 9주 조사시부터는 pH 7.3으로 안정되었으나, 강제통기식의 경우는 5주째까지는 정치퇴적식과 유사한 변화양상을 보이고 6주 이후부터는 pH값 7.3수준으로 빠르게 안정화되는 경향을 보였다.

3. 전탄소, 전질소 및 탄질비

먼저 전탄소의 경우에 초기 45%수준에서 10주 후 39%수준으로 감소되었는데 두 방식 모두에서 1주째에 42%수준으로 급격히 감소하였고, 3주 이후부터는 차이가 나기 시작하여 정치퇴적식은 완만하게 감소되어 가다가 7주부터는 39%대로 계속 유지하고 있었으나, 강제통기식은 3주 이후부터 급격히 떨어져 6주 이후부터는 38%수준을 유지하였다. 또 전질소의 함량의 경우는 두 처리간에 상이한 함량 변이를 나타내 퇴비재료의 초기함량 1.78%에서 시작하여

정치퇴적식에서는 퇴비화 개시후 8주까지는 부숙이 진행됨에 따라 전질소 함량이 2.3%대로 증가되다가 10주째는 2.27%를 나타내고 있으나, 반대로 강제통기식에서는 개시 후 1주 조사시 1.51%로 급격히 감소하여 그 이후 점차 증가하다가 7주째부터는 재료의 전질소함량이 1.8%로 유지되어 두 방식 간에 전질소함량의 차이를 보였다. 이와 같이 정치퇴적식에 비해 강제통기식에서 주발효기간 중 퇴비재료의 급격한 전질소성분의 감소는 부숙초기의 연속통기와 이후의 간헐통기에 의한 암모니아가스상태로 질소성분의 휘산손실에 기인한 것으로 해석되었다. 더구나 본실험의 강제통기방식의 처리에서 호기적상태를 조장시켜서 질산화작용을 조장시킬 수가 있으나 강제통기로 인한 퇴적물 내의 암모니아를 빠르게 배출시키기 때문에 부숙초기의 연속통기 시기나 간헐통기 동안에 다량의 암모니아가 발생하는 것으로 생각된다.

재료중의 전탄소와 전질소의 함량으로부터 계산되는 탄질비의 변화에서도 부숙 초기부터 차이를 보여서 정치퇴적식의 경우는 전 조사기간에 걸쳐 완만히 감소하여 부숙 후반기에는 탄질비 17수준을 나타냈으나 강제통기식에서는 앞의 전질소함량 변화에서 보는 바와 같이 3주까지는 주발효기간의 질소분의 감소에 의해 1-3주간은 탄질비가 초기값보다 높아 각각 28.2, 26.5 및 25.9를 나타냈으나 이후 점점 감소되어 7주째부터는 21수준을 유지하였다.

일반적으로 탄질비가 25-30인 것이 부숙화에 알맞으며 이 보다 탄질비가 높으면 퇴비화가 지연되고, 낮으면 암모니아가스로 질소의 손실이 초래하게 되는데 이는 퇴비중 부숙온도가 높을 때 암모니아가 생성되며 pH값이 알카리성을 나타낼 때 휘산된다고 한다.

퇴비재료의 부식화가 진행되면 전탄소함량, 탄질비 등은 감소하며, 전질소함량과 조회분의 함량은 다소 증가되고 이들 성분의 함량은 5주 이후에는 거의 일정한 값을 유지하다가 그 이후에는 변화가 적다고 한 기존의 보고들과 비슷한 결과를 보이나 본 실험의 전질소함량 경우에 1-2주일 정도 지연되었다.

4. 조회분과 잔존유기물

퇴비화 과정 중 조회분함량과 잔존유기물의 변화에서 먼저 조회분함량은 그림 6-1에서와 같이 부숙전 18.9%에서 주발효 단계인 4주까지는 빠르게 증가한 후 일정하게 유지되는 경향을 나타냈으며 10주 조사시에는 28-30%수준으로 증가되었다.

한편 잔존유기물의 변화추이를 보면 관행방식인 정치식의 경우에 강제통기퇴적방식보다 유기물의 감소가 더디게 진행되어 퇴비화개시 후 6주에는 90.9%, 10주 조사시에는 85.7%가 남아 있는 것으로 나타나 강제통기방식의 6주 조사시 81.8%, 10주의 76.2%와 비교하면 거의 10%에 가까운 차이를 보였으나 우분만을 이용한 퇴비화실험 결과에서는 5주 이후에 유기물잔존율이 55%수준을 계속 유지한 것과는 차이를 보였다. 이러한 결과는 분해에 대한 저항성이 큰 왕겨의 혼입에서 오는 결과로 생각되었다. 우분 부숙조건에 관한 기존의 시험에서 수분, 탄질비 및 물리성개선을 목적으로 하는 부재료로서 왕겨의 부적합성을 지적한 바는 있으나, 톱밥 등은 수요의 증가와 품귀현상으로 가격면에서 이미 경제성을 상실한 상태이며, 실제 농가에서 축사관리시 왕겨를 깔짚재료로 이용하고 있기 때문에 우분퇴비의 부재료로서 왕겨의 이용은 불가피하다고 본다.

5. 인산, 암모니아태 질소 및 질산태 질소

퇴비재료의 인산함량은 부숙전 1.81%이었으나 앞의 총질소와 같은 변화양상으로 강제통기식에서는 1주 조사시 2.0%로 증가되어 최종 조사시인 10주에 2.32%까지 많아 졌고, 정치퇴적식의 경우에는 초기 4주까지는 부숙전보다 증가되었으나 그 이후에는 감소되어 1.7%수준을 유지하다가 마지막 조사시에는 1.74%를 나타냈다.

암모니아태 질소와 질산태 질소의 결과는 표 6-2에서와 같이 암모니아태 질소의 함량이 부숙전에 2,000ppm을 상회하였고 반대로 질산태 질소는 7ppm수준을 나타냈다. 정치퇴적식의 암모니아태 질소함량은 부숙과 함께 점점 감소되어 10주 후에는 119ppm으로 나타났고, 강제통기식은 부숙과정에서 전반적으로 감소되는 경향은 보이지만 부숙개시후 5주에서 7주 사이에 다시 높은 함량을 보이다가 다시 떨어져서 최종조사시에 392ppm수준을 보여 정치식에 비하여 3배 이상의 함량을 나타냈다. 한편 질산태 질소의 경우는 부숙개시 후 점차로 증가되다가 6주일 이후에는 감소되어 30ppm전후의 함량을 유지하였다. 일반적으로 퇴비화가 진행됨에 따라 암모니아태 질소는 감소되고 질산태 질소는 증가되는 경향을 나타내는 것으로 알려져 있으나, 본 실험에서 부숙개시후 10주 조사시의 분석결과는 암모니아태 질소가 더 높게 나타나 퇴비가 아직 미숙단계인 것으로 판단되었다.

6. 무기성분 변화

퇴비재료의 부숙과정에서 칼리, 칼슘, 마그네슘 및 나트륨과 같은 무기성분의 함량변화 양상도 앞의 조회분의 변화추이와 같이 전반적으로 증가되는 경향을 보였고 퇴비중의 무기성분의 함량이 비교적 높게 나타나 전반적인 성분에서 기존의 분석결과들을 상회하고 있다. 본 실험에 사용한 축분을 제공한 농가의 비육우용 사료의 원료조성을 보면 곡물 등의 유기성재료 외에도 석회석과 식염 등이 포함될 뿐더러 포대에 표시된 등록성분량에서도 조회분이 10%수준이며 칼슘의 양도 0.5%이상으로 조성되어 있어 급여하는 사료의 종류에 크게 영향을 받을 것으로 보이며, 소의 뇨중에는 타 가축에 비해서 칼리의 함량이 가장 높으며, 사료종류별 우분중의 무기성분 분석결과에서도 배합사료의 급여비율을 높여 줄수록 인산, 칼슘, 마그네슘 및 나트륨 등의 함량이 높아졌음을 확인한 바 있다. 한편 퇴비화 처리방식을 비교하면 칼리, 칼슘, 마

그네슘 및 나트륨 등의 성분들이 정치퇴적식에 비해 강제통기식에서 더 높은 함량을 보여 강제통기식이 정치퇴적식에 비해 빠른 부숙화하는 것으로 판단된다. 특히 나트륨 성분은 퇴비를 토양에 시용했을 떄 토양물리성을 악화시킬 우려가 있으며, 일반적으로 가축분뇨나 처리물의 무기물 중 칼리의 함량이 높아 경지에 사용했을 때 길항작용으로 칼슘과 마그네슘의 결핍에서 오는 문제점도 알려지고 있다.

제4절 결론

왕겨와 우분뇨를 혼합물을 퇴비재료로 하여 정치퇴적식과 강제통기식으로 10주일간 부숙시키면서 퇴비화 과정 중의 퇴비재료 성분의 특성변화를 조사한 결과는 다음과 같다.

수소이온농도의 경우 부숙초기인 1-2주에는 8.9 수준으로 상승하였다가 그 이후 중성부근으로 떨어졌으며, 4주이후부터 정치퇴적식보다 강제통기 퇴적방식에서 빠른 안정화를 보였다.

전탄소는 부숙과 함께 감소되는데 정치퇴적식은 완만한 감소를 보여 10주조사시 40%에 가까운 반면, 강제통기식에서는 감소가 빨라서 6주이후부터는 38%수준을 유지하였다. 전질소는 두 방식간에 차이가 뚜렷하여 정치퇴적식은 부숙에 따라서 점점 증가되다가 8주 이후에는 2.3%수준을 유지하였고, 강제통기방식은 분해초기에 급격한 감소를 보이나 7주 이후 1.8% 수준을 유지되었다. 탄질비의 경우는 두 방식간에 차이를 보이면서 완만히 감소되는데 6주일후에는 안정화되어 정치퇴적식과 강제통기방식에서 각각 17과 21 수준을 보였다.

조회분과 일반 무기성분의 함량변화는 전반적으로 부숙과 함께 증가되는 경향이었으며 강제통기방식에서 이들의 함량이 높아졌다. 잔존유기물의 양도 부

숙에 따라서 강제통기방식의 경우 잔존량이 적고 부숙후 6주부터는 9%정도의 차이를 나타냈으며 최종 10주 조사시의 두 방식의 잔존율은 80% 내외에 머물렀다. 무기질소의 함량변화는 전반적으로 암모니아가 높고, 퇴비화의 진행에 따라 감소되나 강제통기방식에서 다소 높은 함량을 보였다.

제7장 퇴비화 온실에서 연료 및 전기에너지 소비량 분석

Analysis of Fuel and Electrical Energy Consumption in Composting Greenhouse

제1절 서론

WTO 체제 출범이후 우리나라의 시설농업의 당면과제는 생산비의 절감과 품질향상을 통하여 국제경쟁력을 강화하는 것이다. 겨울철의 한냉기에 시설농업을 경영하기 위해서는 작물의 생육조건에 적합한 온실의 열 및 가스환경을 조성하여 주어야 한다. 온실의 열환경을 개선하여 작물 생육을 촉진하여 양질의 채소를 생산하고, 수확량을 증대하기 위해서 사용되는 온실의 열에너지는 온실 내부의 가온을 위한 난방기의 연료에너지와 관수장치, 조명장치 등의 작동을 위한 전기에너지 등이 있다. 시설 내부의 온도는 주로 난방기에 의하여 연료에너지를 열에너지로 변환하여 높여주고 있는데 시설재배에 소요되는 직접 및 간접에너지 중에서 온실 내부의 가온을 위하여 사용되는 연료에너지가 차지하는 비중은 90%를 상회하고 있다.

본 연구는 겨울철 한냉기에 시설 농업에 소요되는 전기 및 연료에너지의 소비량을 절감하기 위한 방법으로 온실 내에 퇴비화 시설을 설치하고 퇴비제조의 발효과정에서 발생하는 발효열 에너지가 온실 내부의 온도를 상승시킴으로써 난방기 작동에 의한 연료에너지의 절감효과를 분석하는데 그 목적이 있다. 퇴비화 발효열에 의한 연료에너지 절감효과를 분석하기 위하여 퇴비화 시설이 없는 동일면적의 관행 온실를 제작하여 퇴비화 기간동안에 토마토를

재배하면서 두 개의 온실간의 난방기 가동을 위한 연료 및 전기에너지 소비량을 비교분석하였다.

제2절 재료 및 방법

1. 온실의 개요

폴리에틸렌 필름 피복재를 사용하여 2중 가동커튼형 플라스틱 온실(길이 12.5m, 나비 4.37m, 면적 54.6m2) 를 제작하고, 온실 내외부에 지중전열량을 최소화하기 위하여 두께 10cm 의 스티로폼을 온실 외측의 벽면에 따라 50 cm의 깊이로 땅속에 묻어 설치하였다.

발효실험용 퇴비화 온실은 크기가 60 x 60cm2 인 콘크리트 측구를 그림 2-1에서와 같이 길이 8m인 3줄로 지중에 묻어 퇴비 발효조를 제작하였다. 퇴비 발효조 밑바닥에는 송풍파이프를 설치하여 팬에 의하여 퇴비재료에 공기를 공급할 수 있도록 하였다. 콘크리트 발효조 사이의 공간은 작물을 재배할 수 있도록 상토하였다.

퇴비 발효조에는 우분과 왕겨를 체적비 2 : 1 로 혼합하여 투입하였으며, 간헐통기방법에 의하여 퇴비에 공기를 공급하였다.

퇴비화 온실(퇴비구)와 비교실험하기 위한 관행 온실(대조구)는 퇴비구와 동일한 크기와 형상을 갖도록 시설하였으며, 퇴비구의 콘크리트 발효조 대신 스티로폼을 매설하여 단열효과가 거의 동일하게 작용하도록 하였다.

퇴비 발효조와 작물재배공간에 물을 공급하기 위한 관수 시스템을 각각 설치하였다. 관수시스템은 2중 타이머를 설치하여 매일 정기적으로 1분 단위로 관수시간을 조정할 수 있도록 하였다.

퇴비구와 대조구에 각각 설치한 난방기는 난방능력 83,740kJ/hr, 출력 0.75kW 이며, 비닐덕트를 설치하여 난방열이 온실 공간에 고루 공급될 수 있

도록 하였다.

2. 작물재배 시험재료 및 방법

재배시험을 위한 작물은 방울토마토와 대과종토마토로서 1995년 11월 20일 파종하여 퇴비구와 대조구에 1996년 1월 26일 정식하였다.

온실 내의 온도는 온풍난방기를 하루에 4구간의 시간대로 나누어 각 시간대의 최저 온도가 06:00 - 09:00에는 18℃, 09:00 - 15:00에는 21℃, 15:00 - 23:00에는 18℃, 23:00 - 06:00 에는 15℃가 되도록 설정하였으며, 관수는 매일 1회 실시하여 15 - 40L(작동시간 3 - 8분)의 양을 공급하였다.

3. 계측시스템의 구성과 환경변수의 측정

연료 소비량을 구하기 위해서 연료탱크 유면의 위치를 감지하는 레벨게이지를 이용하여 연료유면 높이를 1시간 간격으로 연속 측정하여 자동기록할 수 있는 계측시스템을 구성하였다. 연료탱크는 직 6면체의 탱크이므로 유면의 변화량에 탱크의 밑면적을 곱하여 연료소비량을 계산하였다.

연료 유면게이지는 연료 유면의 높이에 따라 4-20mA의 전류를 출력한다. 유면게이지의 전류 신호는 신호처리장치에 의하여 전압신호로 바뀌어 A/D 변환기를 통하여 디지털 값으로 변환시켜 컴퓨터에 입력하였다. 이 값은 다시 실제 탱크에 남아있는 연료의 양으로 환산되어 1시간 간격으로 데이터 파일에 저장되도록 하였다.

각 온실에 설치된 난방기의 작동에 소요되는 전력량은 퇴비구와 대조구의 난방기에 각각 별도의 전력량계를 연결하여 측정하였다.

제3절 결과 및 고찰

그림 7-1 (a)-(c)는 퇴비화 주발효과정에서 퇴비발효조의 온도(TM5), 퇴비구의 실온(TB3), 대조구의 실온(TP2), 외기 온도(TO2), 퇴비구의 1일 연료소비량(FB), 대조구의 1일 연료소비량(FP)의 변화값을 나타낸 것이다.

그림에서와 같이 각 단계별 최저온도는 설정온도보다 약간 높게 나타났으며, 낮에는 태양복사열 때문에 높은 온도를 유지하였다.

온풍기의 연료소비량은 퇴비구 및 대조구 모두 외기의 온도에 따라서 변화하였으며, 주발효와 후숙기간이 종료되는 42일간의 소비량은 퇴비구에서 652.2L, 대조구에서 665.4L로서 1일 평균 연료소비량은 퇴비구에서 15.5L, 대조구에서 15.8L로 나타났다. 퇴비발효에 의하여 발생한 열량에 의하여 온풍기의 연료절감비율은 2% 정도인 것으로 나타났다. 퇴비화 발효과정에서 발생열량이 실온상승에 미치는 효과가 크게 나타나지 않는 이유는 퇴비재료의 상부에 7cm의 복토를 하여 발생열량이 온실 내 공기로 직접 전달되지 않았고, 또한 발효초기에 발생하는 암모니아가스를 배출하기 위하여 환기를 자주 하였기 때문인 것으로 판단된다.

난방기의 전력소비량은 42일이 경과한 다음에 적산전력계에 나타난 값으로 구하였으며, 퇴비구에서 74.9kWh, 대조구에서 83.4kWh 로 나타났다.

연료에너지 상수값 47.2MJ/L, 전력에너지 상수값 12.0MJ/kWh 의 값을 적용하여 주발효기간(42일) 중에 단위면적(ha)당 소비된 연료 및 전력량을 에너지로 환산하여 퇴비구와 대조구의 값을 비교하여 표 7-1에 나타내었다. 표에서와 같이 노동력을 제외한 직접에너지의 소비량은 퇴비화 온실에서 5,802,600MJ/ha, 관행 온실에서 5,935,300MJ/ha로 나타나 퇴비화 온실에서 2.2%의 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

표 7-1 퇴비화 및 관행 온실에서 전기 및 연료에너지 투입량

Table 7-1. Electrical and fuel energy inputs for heating in composting and traditional greenhouse.

Item	Energy inputs (MJ/ha)	
	Composting house	Traditional house
Electricity	164,600	183,300
Fuel	5,638,000	5,752,000
Total	5,802,600	5,935,300

제4절 결론

가축분뇨의 퇴비화 과정에서 발생하는 열에너지를 활용하기 위하여 면적 54.6 m2 의 퇴비화 온실을 제작하고 온실 내에 퇴비 발효조를 설치하여 발생 열량을 온실난방을 위한 보조열원으로 이용하였다. 발생 열량이 온실 가온에 미치는 효과를 분석하기 위하여 퇴비 발효시스템이 없는 동일 면적의 관행 온실을 제작하여 퇴비화 온실과 동일한 열환경을 조성하면서 토마토 작물을 재배하였다. 퇴비가 제조되는 주발효기간 동안 퇴비화 온실(퇴비구)과 관행 온실(대조구)내의 열환경 변수를 계측하고 온풍기의 연료소비량과 온풍기 작동에 소요되는 전력량을 구하여, 퇴비제조 과정에서 발생된 발효열이 연료 및 전기에너지 절감에 미치는 효과를 분석하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 주발효와 후숙기간이 종료되는 42일간의 연료소비량은 퇴비구에서 652.2L,

대조구에서 665.4L로서 1일 평균 연료소비량은 퇴비구에서 15.5 , 대조구에서 15.8L로 나타났다. 퇴비발효에 의하여 발생한 열량에 의하여 연료의 절감비율은 약 2%로 나타났다.

2. 난방기의 전력소비량은 42일이 경과한 다음에 적산전력계에 나타난 값으로 구하였으며, 퇴비구에서 74.9kWh, 대조구에서 83.4kWh 로 나타나 퇴비발효에 의하여 난방기 구동 전기에너지의 대체효과는 1% 정도인 것으로 나타났다.
3. 주발효기간(42일) 중에 단위면적(ha)당 소비된 연료 및 전력량을 에너지로 환산하여 퇴비구와 대조구의 값을 비교하여 본결과 퇴비구에서 5,802,600 MJ/ha, 대조구에서 5,935,300MJ/ha 로서 퇴비화 온실이 2.2%의 절감효과를 나타냈다.

제 8장 퇴비화 온실의 토마토 재배효과

Effect on the Growth and Development of Tomato in Composting Greenhouse

제1절 서론

퇴비화 온실의 재배환경은 퇴비화 과정중에 발생하는 발효열이나 탄산가스로 인하여 관행 온실과는 큰 차이가 있다.

열환경은 기온 뿐만 아니라 지온이 크게 향상되며 이로 인해 토양수분의 함량에도 영향을 미친다. 온도는 작물생육의 1차적인 환경조건으로 각 작물에 맞는 적정온도를 유지하지 못하면 상품생산 자체가 불가능하다. 이러한 이유로 인하여 동계 시설원예재배에서는 난방을 위하여 가온을 하지 않으면 안되는데 일반적으로 난방비는 경영비의 약 30%정도를 차지한다. 그러므로 연료비를 절감하는 것은 생산단가를 낮추는데 대단히 중요한 역할을 한다. 특히 퇴비화로 인한 지온상승은 토양을 통한 열손실을 차단하여 연료비를 절감할 뿐만 아니라 작물생육에 결정적인 영향을 미치므로 고품질 상품생산에 크게 기여한다.

퇴비화 온실의 가스환경은 광합성작용에도 큰 영향을 준다. 시설내의 탄산가스 급원으로는 환기, 공기순환, 유기물 시용, 공업용 제품, 가온기의 연소가스 등이 있으나 겨울철에는 온도가 낮아 환기에 의한 탄산가스 공급은 불가능하고 공업용 제품이나 연소가스의 이용은 많은 경비가 소요되므로 적용하기가 쉽지않다. 공기순환은 엽면경계층을 파괴하여 탄산가스 이용효율은 높이기는 하지만 소극적인 방법으로 생육촉진에는 한계가 있다. 유기물 시용은 이러한 측면에서 매우 중요한 탄산가스 급원으로 널리 활용되고 있는데 탄산가스 급

원으로서 뿐만 아니라 토양의 입단구조를 개선하여 작물생육에 크게 기여한다.

이러한 장점에도 불구하고 퇴비화 과정중에는 여러 가지 작물생육에 해로운 기체가 발생한다. 특히 암모니아가스는 8 40ppm의 저농도에서도 작물생육을 저해한다. 그러므로 미숙퇴비를 밀폐된 온실내에서 이용하는 데에는 여러 가지 제약이 따른다. 유해가스는 식물세포의 대사과정을 교란하여 식물생육을 방해하므로 유기물 시용의 다양한 장점에도 불구하고 온실에서 발효열과 발효탄산가스가 널리 이용되지 못하고 있다.

따라서 본 연구는 이러한 측면에 주의하면서 퇴비화에 수반되는 환경의 변화가 토마토의 생육에 어떠한 영향을 미치는지 구명하고자 퇴비시설이 없는 동일면적의 관행 온실을 설치하여 방울토마토와 일반토마토를 정식하고 두개의 온실간 환경의 변화를 추적하면서 토마토의 생장과 수량 및 과일의 품질을 비교하였다.

제2절 재료 및 방법

1. 온실 및 퇴비화 시설

실험용 온실은 동서동 턴널형 플라스틱 파이프 온실로서 길이 12.5m, 폭 4.37m, 면적 54.6m2 였으며 내부에 2중 피복을 하였고 부직포는 설치하지 않았다. 난방은 83,740kJ/hr의 난방기를 이용하였으며 관수는 모터에 타이머를 설치하고 관행 온실(T.G: traditional greenhouse)과 퇴비화 온실(C.G: composting greenhouse)에 유량계를 설치하여 관수량을 조절하였다.

퇴비화 시설은 60×60cm2의 U자형 콘크리트 개거를 길이 8m가 되도록 설치하였으며 3열로 배치하였다(그림 2-2). 작물은 발효조와 발효조 사이에 폭 63cm 크기의 이랑을 만들고 작토와 퇴비를 혼합 투입하여 재배하였다. 관행

온실에는 U자형 콘크리트 개거 대신 두께 10cm 의 스티로폼을 퇴비화 시설과 동일하게 설치하여 비슷한 환경조건이 되도록 하였다(그림 2-3). 퇴비 발효조에는 우분과 왕겨를 체적비 2:1 로 혼합하여 투입 하였으며 퇴비발효조 밑바닥에는 송풍파이프를 설치하여 간헐통기 하였고 퇴비발효조 상층부에는 점적 관수시설을 설치하여 적절한 수분상태가 유지되도록 하였다. 퇴비 발효조 위에는 비닐턴넬과 환기팬을 별도로 설치하여 발효초기의 암모니아가스를 온실 밖으로 배출시킬수 있도록 하였으며 15일 후에 암모니아가스 농도가 약 25ppm 이하로 낮아진 후 철거하고 토마토를 정식하였다.

2. 온실환경변수의 계측

온실내외에 설치한 온습도(반도체회로식), 지중온도(PT100), 탄산가스(NDIR 방식) 센서의 아날로그 신호를 디지털 신호로 전환하여 컴퓨터에 저장하였다.

온도와 습도는 각각 지상에서 높이 35cm, 150cm 에서 측정하였으며 지중온도는 지하 30cm와 10cm 에서 계측하였고 탄산가스는 지상 35cm 높이에서 측정하였다. 각 센서의 계측은 1시간 간격으로 수십초간 계측된 100회분을 평균하였다.

암모니아의 계측은 그림 9-1과 같이 실험용 온실과는 별도로 1.5×1.5×1.5m 크기의 밀폐된 발효조를 만들고 1.4m 높이까지 퇴비를 넣어 퇴비화 온실과 같은 조건으로 발효를 시키면서 가스채취기(GASTEC, No800)에 검지관(No.3L)을 부착 암모니아농도의 변화를 측정하였다.

3. 토마토 육묘 및 정식

공시 토마토는 방울토마토와 일반토마토의 2종류로 하였다. 각 토마토는 1995년 11월 20일 파종하여 펄라이트(perlite)에 원시표준액으로 양액육묘하였으며 1996년 1월 26일 각각 25cm 간격으로 33주씩 정식하였다.

재배용토는 약 30cm 깊이로 작물이 재배되었던 작토층을 반입하고 창성유기질 비료를 360kg/10a 용량으로 투입하였다.

온실내의 온도는 4단변온시스템으로 6시부터 9시까지는 18℃, 9시부터 15시까지는 20℃, 15시부터 21시까지는 16℃, 21시부터 6시까지는 14℃ 가 되도록 난방기의 온도를 조절하였으며 주간에 실내온도가 25℃ 이상이 되면 환기를 하였다.

관수는 타이머를 이용하여 오전 10시에 작물의 생장과 토양수분상태에 따라 3 8분간 1일 1회 관수하였다. 관수량은 유량계를 이용하여 관행 온실과 퇴비화 온실의 관수량을 조절하였으며 생육중·후기의 퇴비화 온실은 지중온도가 높고 생육이 빨라 토양이 쉽게 건조 하였으므로 토양수분상태에 따라 관수량을 늘려 주었다.

4. 생육조사

생육조사는 정식 20일후 부터 10일 간격으로 5회 및 최종 수확시인 5월 27일 각각 4 5주씩 실시하였다. 이때의 조사항목은 草長, 莖徑, 葉數, 葉生體重, 莖生體重, 根生體重, 主根長, 葉乾物重, 莖乾物重, 根乾物重, 開花數, 着果數, 收穫果數, 果重이었다.

이와는 별도로 과일의 수량과 품질을 조사하기 위하여 관행 온실과 퇴비화 온실에서 방울토마토와 일반토마토를 각각 5주씩 선정하였고 11花房에서 적심하였으며 정식 70일후인 4월 5일부터 10일 간격으로 5월 27일까지 수확과수, 과중, 당도 등을 각 花房별로 6회 조사하였다.

제3절 결과 및 고찰

1. 퇴비화 온실의 환경 변화

가. 열환경

(1) 온도

온도는 그림 8-1과 같이 35cm와 150cm에서 퇴비화 온실과 관행 온실간에 큰 차이가 없었다. 이것은 온실의 온도를 난방기에 의해 일정온도로 유지되도록 설정하였고 주간에는 25℃이상에서 환기를 하였기 때문이다.

(2) 지온

지온의 경우는 그림 8-2와 같이 큰 차이를 나타내었다. 지중 10cm의 온도는 일변화가 8 13℃로 매우 컸으며 퇴비화 온실의 지온이 주간에는 약 7℃, 야간에는 약 10℃ 높았으며, 지중 30cm의 온도는 일변화가 거의 없었는데 퇴비화 온실의 지온이 관행 온실의 지온보다 약 10 15℃나 높았으며 이러한 지온의 차이가 토마토의 생육에 큰 영향을 미쳤다.

나. 가스환경

(1) 암모니아가스

퇴비화 발효과정 중의 암모니아가스 농도 변화를 추적하기 위하여 퇴비화 온실과는 별도로 1.5m×1.5m×1.5m 크기의 밀폐된 발효조에 1.4m 높이까지 퇴비를 충진하고 발효조건을 퇴비화 온실과 동일하게 유지하면서 암모니아가스 검지관을 이용하여 매일 1회 3반복 계측한 결과는 그림 9-3과 같다.

발효시작후 2, 3, 4, 5, 및 6일째의 암모니아가스 휘산농도는 각각 5.4, 13.3, 114, 114.7 및 117.3ppm으로 상승하였다. 발효후 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 및 14

일 째에는 각각 79.3, 41, 41, 54.7 10.7, 20, 82 및 27 ppm으로 발효 7일째부터 낮아져서 8일 이후에 현저히 감소하였다. 발효 16일째에는 15.7 ppm으로 낮아졌으나 작물에 따라서는 8ppm 에서도 암모니아가스 장해를 받을 수 있으므로 본 실험과 같은 조건으로 발효를 시키는 퇴비화 온실에서의 작물 정식은 발효 시작 후 약 3주 이후가 되어야 할 것으로 판단되었다.

(2) 탄산가스

퇴비화 온실내의 퇴비 발효조에 1월 13일 퇴비를 넣어 발효가시작된 후 14일째인 1월 27일 부터의 탄산가스 농도 변화는 그림 8-3과 같다. 그림에서와 같이 관행 온실내의 탄산가스 농도는 450ppm 내외인데 비해 퇴비화 온실내의 농도는 2500ppm 이상까지 높아지는 경우도 있다. 2월 1일 부터 2월 7일 사이에 농도가 500ppm 내외로 낮아진 것은 환기에 의한 것으로 정식된 토마토의 암모니아가스 장해를 방지하기 위하여 온도가 낮지 않을 경우 야간에도 환기를 하였기 때문이다. 그러나 2월 8일 부터 11일 사이와 같이 환기를하지 않을 경우 1500ppm에서 2500ppm까지 그 농도가 높아졌다.

퇴비화가 시작된 약 2개월까지는 무환기시 약 1000 1500ppm을 유지하였으며 2개월 이후부터 마지막 생육조사를 하였던 5월 27일 (퇴비화 시작 130일 후) 까지는 약 700 1000ppm이 유지되었다.

2. 퇴비화 온실의 생육 촉진효과

초장, 경경, 엽수, 주근장은 그림 8-4와 같다. 주근장을 제외하고는 전체적으로 관행 온실보다 퇴비화 온실에서의 토마토 생육이 양호하였다. 특히 경경의 경우 정식 1개월 후부터 그 차이가 뚜렷하게 나타났으며 2개월 후에는 직경 약 1cm의 차이가 나타났다. 이러한 차이는 앞에서 언급한 바와 같이 퇴비화 온실의 온도와 지온 그리고 탄산가스 농도가 향상되었기 때문이라고 판단되었다. 주근장의 차이가 없었던 것은 뿌리의 굴취과정중 주근장이 쉽게 손

상되어 정확한 계측이 어려웠기 때문이라 생각되었다.

엽, 경, 근의 생체중 및 건물중도 그림 8-5와 같이 생육이 진전됨에 따라 퇴비화 온실에서 현저히 증가하였다. 특히 두 온실간 주근장의 차이가 없었음에도 불구하고 근의 생체중과 건물중이 큰 차이를 보이고 있는 것은 퇴비화에 의한 지온의 상승이 측근의 생장에도 큰 영향을 미치고 있음을 시사한다.

3. 과일 수량과 품질

표 8-1은 2월 15일 부터 3월 25일 까지의 방울토마토와 일반토마토의 개화수, 착과수, 수확과수, 과일생체중, 건물중을 나타낸 것으로서 방울토마토의 경우 개화수와 착과수는 퇴비화 온실에서 높은 경향이었으며 과일생체중은 3월 6일 외에는 거의 비슷하거나 낮았고 과일건물중도 3월 6일 외에는 낮게 나타났다. 그러나 일반토마토의 경우는 대부분의 항목이 퇴비화 온실에서 높게 나타나 그 효과가 현저하였다.

표 8-2에는 주당 평균 총 수확과수, 수확총중량, 개당 평균과중을 나타내었다. 생육이 진전됨에 따라 관행 온실보다 퇴비화 온실에서의 방울토마토 총수확과수와 수확총중량이 많아졌다. 일반토마토에서는 그 경향이 더욱 뚜렷하였다. 개당 평균 과중은 방울토마토의 경우 큰 차이가 없었으나 일반토마토의 경우 5월 6일 까지는 퇴비화 온실에서 컸으나 그 후에는 관행 온실에서 크게 나타났는데 果房當 着果數의 영향을 반영하는 것으로 생각되었다.

평균 당도는 표 8-3과 같이 퇴비화 온실에서 재배된 방울토마토의 당도는 8.51 9.24인 반면 관행 온실에서 재배된 방울토마토의 당도는 7.0 8.98로 나타났다. 한편 퇴비화 온실의 일반토마토의 경우 당도가 6.48 7.5인 반면 관행 온실의 경우에는 5.88 5.93으로 나타나 퇴비화 온실 토마토의 당도가 약 1도 정도 높게 나타났다. 이것은 앞에서 살펴본 바와 같이 탄산가스 농도와 지온이 개선 됨으로써 광합성량이 많아졌기 때문으로 생각되었다.

표 8-1. **퇴비화온실과 관행온실에서 주당 평균 개화수, 착과수, 수확과수, 과일생체중, 과일건물중의 변화**

Table 8-1. The difference of flower setting number, fruit setting number, harvesting fruit number, fruit fresh weight and fruit dry weight in the traditional and the composting greenhouse.

Investigating date	Variety of Tomato	Treatment	Flower setting number (ea/plant)	Fruit setting number (ea/plant)	Harvest fruit number (ea/plant)	Fruit fresh weight (g/plant)	Fruit dry weight (g/plant)
Feb. 15	Minitomato	T.G	15.3	3	0	0	0
		C.G	14.3	2.5	0	0	0
	Tomato	T.G	0.3	0	0	0	0
		C.G	0	0	0	0	0
Feb. 25	Minitomato	T.G	9.3	9.3	0	5.1	6.9
		C.G	9.5	10.8	0	2.4	3.0
	Tomato	T.G	3.3	0	0	0	0
		C.G	3.8	0	0	0	0
Mar. 6	Minitomato	T.G	16.8	12	0	9.7	2.2
		C.G	16.8	13.3	0	27.3	13.8
	Tomato	T.G	3.5	0	0	0	0
		C.G	10	0	0	0	0
Mar. 16	Minitomato	T.G	20.5	19.5	0	28.2	13.2
		C.G	27.3	18.5	0	29.7	11.2
	Tomato	T.G	4.3	1.8	0	1.5	0.04
		C.G	9	2.8	0	3.2	0.2
Mar. 26	Minitomato	T.G	36	40.8	2.3	130.1	86.7
		C.G	47.3	53.5	0	117.0	64.5
	Tomato	T.G	6.8	3	0	8.4	3.4
		C.G	15	11.8	0	26.4	6.6

The number is average of five plants

표 8-2. **퇴비화온실과 관행온실에서의 토마토 수확량**

Table 8-2. The yields of tomato for the composting and traditional greenhouse.

Investigating date	Variety of tomato	Treatment	Total harvest fruit number (ea/plant)	Total fruit weight (g/plant)	Average fruit weight (g/ea)
Apr. 5	Minitomato	T.G	15.4	132.7	8.62
		C.G	6.2	56.3	9.08
	Tomato	T.G	0	0	0
		C.G	0	0	0
Apr. 15	Minitomato	T.G	20.8	213.9	10.3
		C.G	10	95.2	9.52
	Tomato	T.G	0	0	0
		C.G	0.4	15.6	38.95
Apr. 25	Minitomato	T.G	19.2	250.7	13.06
		C.G	23.4	300.3	13.69
	Tomato	T.G	0	0	0
		C.G	0.2	20.5	102.5
May 6	Minitomato	T.G	22.4	205.8	9.19
		C.G	39.6	447.3	11.3
	Tomato	T.G	0	0	0
		C.G	4.4	501.2	113.91
May 15	Minitomato	T.G	28.2	259.5	9.2
		C.G	72.4	735.8	10.16
	Tomato	T.G	0.6	95.6	159.27
		C.G	7	839.5	119.92
May 27	Minitomato	T.G	44	424.1	9.64
		C.G	80.6	746.4	9.26
	Tomato	T.G	5.4	1094.7	202.73
		C.G	14.2	1707.4	120.24

The number is average of five plants

표 8-3 **퇴비화 및 관행 온실에서 토마토의 평균당도**

Table 8-3 The average sugar content of tomato in composting and traditional greenhouse.

Variety of tomato	Treatment	Apr. 15	Apr. 25	May 6	May 15	May 27
Minitomato	T. G	8.98	8.96	8.41	7.77	7
	C. G	9.24	9.08	9.22	9.08	8.51
Tomato	T. G	-	-	-	5.93	5.88
	C. G	6.75	7.5	7.13	6.48	7.2

The number is average of sugar content which are measured at every cluster with five plants.

제4절 결론

1. 지표면의 온도는 일변화가 8 13℃로 매우 컸으며 퇴비화 온실의 지온이 주간에는 약 7℃, 야간에는 약 10℃ 높았으며, 지중 30cm의 온도는 일변화가 거의 없었는데 퇴비화 온실의 지온이 관행 온실의 지온보다 약 10 15 ℃나 높았으며 이러한 지온의 차이가 토마토의 생육에 큰 영향을 미쳤다.
2. 발효시작후 2, 3, 4, 5 및 6일째의 암모니아가스 휘산농도는 각각 5.4, 13.3, 114, 114.7 및 117.3ppm으로 상승하였다. 발효후 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 및 14일 째에는 각각 79.3, 41, 41, 54.7 10.7, 20, 82 및 27 ppm으로 발효 7일째부터 낮아져서 8일 이후에 현저히 감소하였다. 발효 16일째에는 15.7 ppm으로낮아졌으나 작물에 따라서는 8ppm 에서도 암모니아가스 장해를 받을 수 있으므로 본 실험과 같은 조건으로 발효를 시키는 퇴비화 온실에서의 작물 정식은 발효시작 후 약 3주 이후가 되어야 할 것으로 판단되었다.

3. 관행 온실내의 탄산가스 농도는 450ppm 내외인데 비해 퇴비화 온실내의 농도는 발효후 1개월까지는 약 2500ppm 이상까지 높아졌으며 퇴비화가 시작된 2개월까지는 무환기시 약 1000 1500ppm을 유지하였으며 2개월 이후부터 4개월까지는 약 700 1000ppm이 유지되었다.
4. 주근장을 제외하고는 전체적으로 관행 온실보다 퇴비화 온실에서의 토마토 생육이 양호하였다. 특히 莖徑의 경우 정식 1개월 후 부터 그 차이가 뚜렷하게 나타났으며 2개월 후에는 직경 약 1cm의 차이가 나타났다. 葉,莖,根의 生體重 및 乾物重도 생육이 진전됨에 따라 퇴비화 온실에서 현저히 증가하였다.
5. 방울토마토의 경우 開花數와 着果數는 퇴비화 온실에서 높았으며 果重은 거의 비슷하거나 낮았다. 그러나 일반토마토의 경우는 모든 항목이 퇴비화 온실에서 높게 나타나 그 효과가 현저하였다. 퇴비화 온실 방울토마토의 총수확과수와 수확총중량은 생육이 진전됨에 따라 관행 온실보다 많아졌으며 일반토마토에서는 그 경향이 현저하였다.
6. 퇴비화 온실에서 재배된 방울토마토의 평균당도는 8.51 9.24인 반면 관행 온실에서 재배된 방울토마토의 당도는 7.0 8.98로 나타났으며 일반토마토의의 경우 퇴비화 온실에서의 당도가 6.48 7.5인 반면 관행 온실에서는 5.88 5.93으로 나타나 퇴비화 온실 토마토의 당도가 약 1도 정도 높았다.

제9장 우분뇨와 왕겨 혼합물의 간헐통기 퇴비화 과정에서 암모니아 휘산

Ammonia Emission during Intermittent Aerated Composting of Cattle Manure and Rice Hulls Mixtures

제1절 서 론

우리나라 축산업은 가축분뇨를 이용할 경지가 없는 좁은 면적에서 많은 수의 가축을 집약적으로 경영하는 추세로서 가축분뇨로 인한 축산공해를 방지하기 위하여 가축분뇨의 합리적인 퇴비화로서 경지에 환원 이용이 시급한 실정이다.

가축분뇨 퇴비화는 농축산 폐기물 처리, 원예산업 자재 및 토양 개량재로서 중요한 자원화 기술이다. 가축분뇨의 처리이용에 있어서 일반적인 문제는 취기 발생으로서, 최근에 퇴비화 처리시설의 탈취 처리에 대한 관심이 고조되어 가고 있다. 따라서, 퇴비화 시설에서 발생되는 취기의 탈취처리를 위하여 보다 능률적이고 경제적인 처리시스템 개발이 필요하다.

퇴비화처리 과정에서 취기발생에 미치는 인자에는 초기재료의 화학적 성분, 산소공급율, 수분, 발효온도의 변화등이 있다. 퇴비화 취기 발생에 이들 요인이 서로 어떠한 영향을 주고 받는지 그리고 취기가스가 가축과 작물 생육 장해에 미치는 가스 농도는 언제, 얼마나 일어나는가에 대한 실험적인 연구결과가 중요하다. 연구결과에 의하면, 퇴비화처리에서 가장 많이 발생하는 암모니아가스의 최대 안전농도는 25ppm이나, 작물의 종류에 따라서 장해 정도가 약간의 차이가 있다. 토마토의 경우는 20ppm에서 34%의 피해가 발생하는 것으

로 보고되었다.

퇴비화처리를 수행하면서 작물을 재배할 수 있는 퇴비화 온실은 퇴비화 과정에서 발생하는 열과 탄산가스에 의하여 작물의 생육환경 개선과 난방에너지 절감을 이룰 수 있다. 그러나 퇴비화 과정에서 발생하는 암모니아가스는 퇴비화 온실의 제약요소가 되고 있다.

따라서, 본 연구의 목적은 회분식 간헐통기형 퇴적퇴비화법에서 암모니아 휘산을 구명하는데 필요한 열적 및 화학적 제특성을 측정하고 또한, 실용화 퇴비장치에 최적조건을 주고 퇴비화 시설의 탈취에 통기량이 미치는 영향을 평가하는데 있다.

제2절 재료 및 방법

실험 재료는 생 우분에 왕겨를 습량 상태로 용적비 2:1로 혼합하였다. 이때의 초기재료 수분은 65%의 수준을 나타내고 있었다. 원 재료의 혼합물은 주발효 및 후숙과정을 42일동안 퇴비화 처리하였다.

회분식 발효조는 그림 9-1에서와 같이 목재로서 가로, 세로 및 높이가 각각 1.5m인 장방형의 구조로 제작하였다. 통풍을 시키기 위하여 발효조 밑 바닥에 내경 10cm의 통기관을 50cm의 간격으로 3줄을 설치하였다. 연속통기 상태에서 발효온도가 50℃에 도달된 후에 0.75kW의 터보형 송풍기로 통기관에 간헐통기하였다. 통기량은 퇴비재료 $1m^3$ 당 $0.1m^3$/min.로서 일정하게 공급하였다. 회분식 발효조의 실 부하용적은 $3.15m^3$(1.3톤)이었다.

암모니아 휘산은 퇴비화 처리과정의 열적 및 화학적 특성을 측정하여 분석하였다. 퇴비의 이화학적 분석 데이터는 공인된 표준 농촌진흥청 토양 화학분석법에 준하여 수행되었다.

실험은 1996. 6. 7부터 시작되었고, 퇴비재료 성분은 실험이 끝난 1996. 7.

17 까지 1주일 간격으로 분석하였다. 퇴비재료 상단 중앙부의 50cm 아래의 임의의 5개소에서 추출한 약 700gr의 시료로서 화학적 성분을 분석하였다. 외기온도와 상대습도는 반도체형 센서로, 퇴비 온도는 Pt 100를 사용하여 매 시간 마다 기록된 것이다.

암모니아 휘산을 측정하기 위하여 발효조 상단 중앙부 위에 내경 20cm의 고무 호스를 설치하였다. 발효조 상부의 암모니아가스 농도는 암모니아가스 분석기(GASTEC No.3L)을 사용하여 통기가 정지된 상태에서 1일 1회 측정 하였다.

제3절 결과 및 고찰

퇴비화 처리 과정중에 있어서 외기, 입기 및 퇴비 온도 그리고 외기 상대습도 변화는 그림 9-2 (a)-(c)에 나타낸 바와 같다. 외기온도가 22℃에서 42℃로 변동했을 때에 발효조 입기온도는 20℃에서 38℃로 변화되었다. 마찬가지로, 외기의 상대습도는 대체적으로 일정한 50-70%를 유지하였다. 한편, 이때에 퇴비 발효온도는 33℃에서 67℃를 나타내고 있었다. 퇴비 발효온도는 급격히 상승하여 6시간 후에 고온역인 45℃이상을, 그리고 6일이 지난 다음에는 65℃에 도달하였다. 퇴적 파일은 11일째에 최대온도 67℃를 나타내고 9일간 65℃ 이상을 유지하였다.

퇴비화처리 과정중의 발효온도, 암모니아 및 엔탈피 증가의 변화는 그림 9-3과 같다. 퇴비의 암모니아 휘산 농도는 발효조에 혼합물을 투입한 6일 후에 급격히 증가했으며, 강한 미생물 작용을 나타내는 66℃에서 최고 117ppm에 도달하였다.

암모니아 농도는 퇴비 발효온도 증가로서 퇴비화 2일째에 급격히 증가 했고, 4-6일 동안 같은 농도를 유지하였으며, 그리고 점차적으로 감소하였다. 6

일째에 발효온도가 65℃를 넘었을 때에, 암모니아 휘산은 감소했다. 그러나, 암모니아 휘산은 14일째까지 25ppm이상을 유지하고 있었다. 22일째에 퇴비온도가 60℃ 이하에서는 가스 취기가 거의 없었다. 4- 6일째에 높은 암모니아 휘산 79- 117ppm 을 범위를 나타내고 있었다. 발효온도 증가에 따른, 암모니아 휘산은 6일 후에 최대 117ppm이고, 그 후부터는 급격히 감소하였다. 암모니아 휘산의 안정화는 주발효 15일 후라는 것을 알 수 있었다. 또한, 최대 안전가스 농도는 25ppm 이하를 유지하고 있었다. 그림 9- 3에 보인 바와 같이 암모니아가스는 발효 15일째에 60℃이하에서 최대허용범위인 25ppm에 도달 하였음을 알 수 있었다. 일반적으로 암모니아가스는 약 50ppm에서 눈에 자극을 주며 약 110ppm에서 호흡에 영향을 미친다. 그러므로, 퇴비화 온실에서 작물생육에 안전한 암모니아가스의 최적 범위의 조절은 퇴비화 2- 3 주일째 사이에 이룩할 수 있었다.

실험을 통하여 암모니아 휘산과 퇴비 온도 변동과의 관계에서 얻어진 결과는 그림 9- 3과 같으며, 주발효와 후숙 퇴비화 기간의 암모니아 휘산은 퇴비 온도변화와 더불어 분석하였다.

회분식 퇴비화 과정의 암모니아 휘산은 6일째에 최고 117ppm에 달하였고, 그 후에는 퇴비온도가 66℃로 될 때까지 급격히 감소하였다. 암모니아 휘산은 55- 60℃의 고온역인 3일째의 13ppm으로부터 4일째 114ppm까지 급격히 증가하였다. 이러한 결과로부터 암모니아 휘산의 급격한 증가는 퇴비온도 증가와 더불어, 발효 후 3- 4일 사이에 일어남을 알 수 있었다.

퇴비화 과정의 암모니아 휘산과 엔탈피 증가는 그림 9- 3에 표시된 바와 같다. 암모니아 농도는 퇴비화 3- 4일째에 급격히 증가하고, 4- 6일째까지 같은 수준을 유지하면서 점차 감소하였다. 엔탈피가 크게 증가함으로써, 발효온도가 현저하게 상승하였다. 그림 9- 3의 엔탈피 증가량은 발효조 상부 공기와 발효조 입구 공기의 엔탈피 차이로 표현되며, 퇴비재료 중에 수증기의 열함량을

나타낸 것이다. 엔탈피 증가가 퇴비화 6일 후에 최종적으로 200kJ/kg.DA을 넘을 때에 암모니아 농도가 감소하기 시작했다. 최고 암모니아 휘산은 주발효 4-6일 사이이며, 엔탈피 증가가 165kJ/kg.DA 에서 198kJ/kg.DA로 될 때에 암모니아 휘산은 114ppm 에서 117ppm으로 변화되었다. 수분 증발에 의한 엔탈피 증가시에는 암모니아 휘산량이 많은 것으로 나타났다.

표 9-1. 퇴비재료의 성분변화

Table 9-1. Results of components analysis of compost materials

	Composting times(weeks)					
	0	1	2	3	4	5
Moisture content, %(wb)	67.3	65.5	64.6	63.0	62.4	62.8
pH(-)	8.3	8.9	8.8	8.3	8.1	7.7
T-C, %(db)	47.2	47.1	46.7	46.5	46.3	46.2
T-N, %(db)	1.34	1.30	1.36	1.38	1.40	1.44
C/N(-)	35.2	36.2	34.3	33.7	33.1	32.1
VS, %(TS)	85.0	84.8	84.1	83.8	83.4	83.2

표 9-1은 퇴비화 5주간의 재료의 성분변화를 나타낸 것이다. 초기재료의 탄질비는 35.2로 높게 나타났었다. 퇴비화 반응은 퇴비 발효온도 변화에서 나타난 바와 같이 느린 상태를 이루고 있었다. 퇴비의 높은 온도는 발효열 축적의 결과이지만, 전 기간의 탄질비 감소는 왕겨 성분으로 인하여 극히 미미 하였다. 25-30 범위의 탄질비는 효과적인 퇴비화 처리 조건이다. 퇴비재료의 혼합

물이 30을 넘게되면 미생물이 과다한 탄소를 사용하므로 퇴비화 시간이 보다 길어진다. 탄질비가 25이하이면, 많은 질소가 암모니아가스 형태로 대기중에 손실되며 암모니아가스의 취기를 발생시킨다.

초기재료 수소이온농도의 측정 값은 8.3으로서 이 값은 추천 기준치인 7보다 상당히 높다. 이런 현상은 전처리 과정에서 유기물 분해와 암모니아태 질소의 증가로 일어났다.

이와같은 결과에서, 퇴비온도는 분해 진도를 평가하는 지표로 사용될 수 있었다. 퇴비화 과정의 저 암모니아 휘산은 초기 탄질비가 약 35.2로 높고, 암모나아가스가 퇴비재료 상층부에서 흡수되어진 결과라고 사료된다. 그러므로, 퇴비화는 5주 동안에 종결되지 못하였다.

유기물이 분해되어 짐에 따라서, 상대적으로 조회분이 증가하였다. 탄질비가 감소함에 따라서 전 질소가 일정한 상태로 나타나는 동안에 전 탄소는 감소하였다.

제4절 결 론

1. 간헐통기퇴비화 과정의 암모니아 농도는 주발효 2일째에 급격히 증가 였고, 4-6일째까지 같은 수준을 유지하였다. 퇴비 온도가 6일째에 65℃를 넘었을 때에 암모니아 휘산량은 점차적으로 감소하기 시작하였으며 취기를 느끼지 못 하였다.
2. 최대 암모니아 농도는 발효 후 4-6일째에 발효온도가 65℃이상에서 79ppm에서 117ppm범위를 나타내 보였다. 암모니아 휘산의 안정화는 주발효 15일째가 됨을 알 수 있었다.
3. 퇴비화 재료의 탄질비가 35.2로서 적정범위 30보다 다소 높아 퇴비화 소요 시간이 길어지는 경향을 보였다.

제10장 유우분뇨와 왕겨혼합물의 급속 퇴비화 과정에서 통기량이 암모니아 휘산에 미치는 영향

Influence of Aeration Rate on the Ammonia Emission in High Rapid Composting of Dairy Manure and Rice Hulls Mixtures

제1절 서 론

우리나라 축산업은 집약화되어감에 따라 매년 많은 양의 가축분뇨가 발생되어 심각한 환경 오염문제를 일으키고 있다. 가축분뇨의 호기성 고형 퇴비화 처리는 환경 오염 방지와 가축분뇨의 자원화 기술로서 가장 바람직하다.

가축분뇨에 의한 공해방지와 원예용 퇴비생산을 위하여 호기성 퇴비화 처리 이용 기술에 관한 많은 연구가 진행되어 왔으나, 퇴비화 과정의 악취가스의 저감 방안에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

퇴비화 주발효 단계에서 유기질소는 휘발성의 암모니아로 무기화 되어진다. 이러한 휘발은 불쾌한 악취 문제를 일으키고, 퇴비의 비료 성분을 손실 시키며, 토양을 산성화시켜 생태계를 파괴 시킨다.

높은 암모니아가스 농도는 눈에 종양을 일으킬 수 있으며 호흡기 계통에 극심한 자극을 준다. 암모니아는 50ppm(최대허용범위)에서 눈에 자극이 가며, 100ppm정도는 호흡기 계통에 영향을 미친다. 암모니아는 100ppm 수준에서 큰 자극을 미치므로, 해로운 수준인 1000-1500ppm 에 이르기 전에 제거하지 않으면 사람은 큰 자극을 받게된다. 한편, 암모니아가스의 최대 안전농도는

25ppm이며, 암모니아가스로 인한 작물의 피해정도는 작물에 따라서 다소 상이하나, 토마토의 경우에 10-17ppm에서 25.9%의 피해가 있었고, 20ppm에서는 34%의 피해가 있었다.

유기계 폐기물 퇴비화 처리에서 암모니아 휘산 저감에 관한 연구는 효율적인 퇴비화 및 탈취처리에 중요하다. 또한, 최적 퇴비화 온도 유지로서 유기물 분해의 안정화를 위해서 흡인 또는 통풍통기가 유기성 폐기물 퇴비화 처리에 필수적이나 통기량과 통기방법이 취기에 미치는 영향이 대단히 크다. 그러므로, 퇴비화 과정의 통기량이 암모니아가스 농도에 미치는 영향을 관측하여 합리적인 퇴비화 처리 방식을 도입하는 것이 중요하다. 또한, 퇴비화 처리 작업중에 발생하는 암모니아가스 휘산의 저감 방안은 퇴비화 온실의 작물장해 제거 및 대기오염 방지 그리고 질소 손실을 방지하는데 중요하다.

따라서, 본 연구의 목적은 연속통기 회분식 퇴비화 시스템에서 유우분과 왕겨 혼합물에서 암모니아 휘산 능력을 평가하는데 있다.

제2절 재료 및 방법

퇴비화 과정의 암모니아 휘산 구조를 알기하기 위해, 그림 10-1에 나타난 바와 같이 3개의 12.3L 크기의 회분식 발효조(높이와 내경이 250mm)에 동일한 재료와 통기법으로 약 12.5kg 의 우분과 왕겨 혼합물을 넣어둔 후에 9일간 실험을 하였다.

생 분뇨 시료에 습량 기준 용적비로 우분뇨(2): 왕겨(1)이 되게 인력으로 혼합하였다. 회분식 발효조는 두께 0.5cm의 합성재료로서 원통형으로 제작하였고 스티로폼으로 단열하였다. 내경 0.3cm의 유공판을 발효조 바닥면 위에 설치하고, 공기 압축기로 통기함과 아울러 퇴비재료를 지지하였다.

호기성 고형퇴비화에서 일반적으로 권장되고 있는 최적 통기량의 범위(50-

100L/m3.min)내에서 57, 73, 및 90L/m3.min. 의 3수준의 통기량별로 강제통기하면서 퇴비화 처리과정의 암모니아 휘산농도를 측정하였다.

퇴비와 외기온도의 변화는 Pt 센서의 아날로그 출력을 자동기록계(HR180N)로서 측정 기록하였다. 암모니아 농도는 가스 검지관(GASTEC, No.3)을 이용하여 12시간 간격으로 측정하였다.

배기가스로 인하여 발생되는 응축수는 발효조 뚜껑에 유입되게 하여 두고 매 실험 종료시에 채취하였다. 그리고, 발효조의 배기가스는 T관을 통하여 흡수병에 유도하였다.

실험 초기와 종기의 재료에 대한 무게, 수분, 수소이온농도, 유기물량, 전탄소, 전질소,탄질비, 암모니아태 질소 및 질산태 질소 등을 분석하였다. 위 조사항목들은 농촌진흥청 토양화학분석법에 준하여 측정하였으며 이들은 반복시험한 평균치다.

제3절 결과 및 고찰

3수준의 통기량에 대한 퇴비화 온도변화는 그림 10 - 2에 나타낸 바와 같다. 퇴비 온도는 우분과 왕겨 혼합물을 발효조에 투입한 후 8시간 이내에 급격하게 상승하였고, 통기량 57, 73 및 90L/m3.min. 수준에서 48시간째에 각각 최고 62.5℃, 65.6℃ 및 60.6℃에 도달하고 있었다. 최적 퇴비화 온도 55와 60℃사이에서 안정화 기간은 통기량의 영향을 받고 있었다. 온도기록으로부터 높은 통기량 수준 90L/m3min.에서 다른 통기 수준 보다도 많은 냉각현상을 나타내고 있음을 알 수 있었다.   높은 통기량 90L/m3min.에서 낮은 통기량 수준인 57, 73L/m3min.보다 더 빨리 온도가 감소하는 것을 알 수 있었다. 온도 강하는 퇴비의 안정화를 나타내며, 그리고 온도는 점차적으로 외기온도까지 감소되고 있었다.

그림 10-3에 나타난 바와 같이 암모니아 휘산 증가의 곡선 변화는 통기량에 따라서 상이하였다. 투입재료를 암모니아화, 탄산가스화 및 수증기화하는 최대 산화는 재료를 투입한 후 약 48시간이 지난 뒤에 일어났다. 암모니아 휘산은 발효가 활발한 96시간 내에 55와 65°C에서 150-1000ppm을 나타내 보였고, 암모니아 휘산의 감소는 60-65°C에서 관측되었다. 암모니아 휘산은 21시간째에 55°C부근에서 급격히 증가 했고, 56시간째에 54와 62°C사이에서 크게 저감됨을 알 수 있었다.

발효조 내의 통기량 수준의 변동은 다음과 같이 암모니아 휘산에 큰 영향을 미치고 있었다. 배출가스 내의 최대 암모니아 휘산은 48시간째에 통기량이 각각 57, 73 및 90L/m^3min.일 때에 1000, 720 및 820ppm에 도달하고 있었다. 그러므로, 퇴비화처리에서 통기량을 적절하게 조정하여야 함을 알 수 있었다.

암모니아 휘산의 안정화는 퇴비화 처리시작후 150 시간 내라는 것을 알 수 있었으며 통기량이 중간 수준인 73L/m^3min에서 허용범위인 45ppm으로 빨리 감소되었다.

표 10-1. 퇴비화 과정중 무게감소와 증발응축수량

Table 10-1. Loss in weight and condensed water evaporated during composting.

Items	Aeration rate(L/m^3min.)		
	57	73	90
Initial weight(kg)	12.6	12.7	12.5
Final weight(kg)	11.3	11.4	10.9
Loss weight(kg)	1.3	1.3	1.6
Percent loss(%)	10.3	10.2	12.8
Condensed water(gr)	109.2	213.8	144.8

통기량 3수준에서 퇴비화처리하는 동안 응축수 발생과 무게 감소는 표 10-1에 나타낸 바와 같다. 퇴비화 과정에서 무게 감소는 1.3-1.6kg 정도이며, 저감

율은 10.0-12.8% 이었다. 무게감소는 높은 수준의 통기량이 약간 많았다.

통기량 57, 73 및 93L/m3min.의 수준에서 수분증발로 인한 응축수의 발생은 216 시간 동안에 각각 109.2, 213.8 및 144.8gr 등으로 나타났다. 통기량 73L/m3min.수준에서 응축수량이 약간 높았으며, 발효 전 기간을 통하여 다른 통기량에 비하여 낮은 암모니아 휘산을 나타내고 있었다. 그러므로, 발효기간의 응축수 변화의 측정은 퇴비화 취기의 변화를 평가하는데 유용하다고 판단되었다.

표 10-2. 통기량 수준과 화학적 성분의 관계

Table 10-2. Relationships between aeration rates and chemical compositions.

Aeration rate (L/m3·min)	pH		MC %(wb)		VS %(TS)		T-C (mg/l)		T-N (mg/l)		C/N		NH3-N (mg/l)		NO3-N (mg/l)	
	In*	Ef*	In	Ef	In	Ef	In	Ef	In	Ef	In	Ef	In	Ef	In	Ef
57	7.28	8.15	73.9	70.2	83.7	82.6	46.5	45.9	1.42	1.33	32.7	34.5	98	94.5	0	3.5
73	7.28	8.05	73.9	74.2	83.7	82.0	46.5	45.6	1.42	1.59	32.7	28.6	98	59.5	0	10.5
90	7.28	8.25	73.9	71.9	83.7	81.5	46.5	45.3	1.42	1.65	32.7	27.4	98	102	0	7

* In: Influent, Ef: Effluent.

표 10-2는 9일간 퇴비화하는 동안에 3수준의 통기량으로부터 화학적 성분과 암모니아태 및 질산태 질소 농도 변화에 통기량이 미치는 영향을 나타낸 것이다. 수소이온농도, 수분 및 유기물량등은 실험기간 동안에 현저한 변화는 없었다. 그러나, 탄질비, 암모니아태 및 질산태 질소 등의 변화는 통기량에 따라 달라졌다. 9일간 발효 후 통기량 73L/m3min.의 암모니아태 질소는 57 L/m3min.과 90L/m3min.의 통기량에서 보다 낮았다. 이것은 73L/m3min.의 통기량이 다른 2개 수준에 비하여 적정한 통기량이기 때문이라고 판단된다. 탄질비는 통기량이 많은 90L/m3min.에서 낮게 나타났다. 통기량 73L/m3min.에서의 암모니아태 질소는 다른 통기량과 비교할 때에 수분증발에 따른 응축수

로 인하여 59.5mg/l로서 낮은 수준의 값으로 나타났다. 질산태 질소 농도는 양호한 호기상태를 나타내는 73L/m3min.에서 약간 높았다. 이것은 호기성처리에서 효율적인 퇴비화를 나타낸 것이다. 암모니아 휘산의 정도는 통기량에 따라 상이하였다.

제4절 결 론

12.3L 크기의 회분식 발효조(높이와 내경이 250mm)에 각각 12.5kg 의 우분과 왕겨 혼합물을 연속통기하여 9일간 퇴비화 발효실험하였다. 73L/m3min., 57L/m3min. 및 90L/m3min.의 3수준의 통기량에 따른 암모니아 휘산특성과 발효후 화학적 성분변화의 분석결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 배출가스내의 최대 암모니아 휘산은 48시간째에 통기량이 각각 57, 73 및 90L/m3min. 일때에 1000, 720 및 820ppm에 도달하고 있었다. 발효조내의 통기량 수준의 변동은 암모니아 휘산에 큰 영향을 미치고 있었다. 암모니아 휘산의 안정화는 퇴비화 처리시작 후 150시간 내라는 것을 알 수 있었다. 통기량이 73L/m3min에서 이보다 높은 90L/m3min과 낮은 57L/m3min보다도 허용범위인 45ppm으로 빨리 감소 되었다.
2. 급속퇴비화 과정에서 중량손실 및 응축수 발생량을 나타내고 있다. 통기량 57, 73 및 93L/m3min.의 수준에서 수분증발로 인한 응축수의 발생은 216시간 동안에 각각 109.2, 213.8 및 144.8gr 등으로 나타났다. 통기량 73L/m3min.수준에서 응축수량이 약간 높았으며, 발효 전 기간을 통하여 다른 통기량에 비하여 낮은 암모니아 휘산을 나타내고 있었다. 그러므로, 발효기간의 응축수 변화의 측정은 퇴비화 취기의 변화를 평가하는데 유용하다고 판단되었다.

제11장 요약 및 결론

Summary and Conclusions

본 기술개발사업의 연구 목적은 축산농가에서 배출되는 우분뇨와 왕겨 혼합물의 호기성처리와 혐기성처리의 유기물 분해 특성을 알고 호기성 퇴비화 과정에서 부산물로서 발생되는 발효열과 탄산가스를 동계 시설채소 재배에 효율적으로 활용하고, 발효 초기에 대량으로 배출되는 암모니아 휘산량을 저감하여 퇴비화 취기로 인한 대기 오염과 작물 생육피해가 없는 가축분뇨 퇴비화 처리 및 퇴비화 온실 재배기술을 실용화 보급하는데 필요한 기초 자료와 저해요인을 구명하는데 있다. 본 연구는 9가지의 주제로 구분하여 수행되었으며, 세부 주제별 주요 연구 결과와 본 연구사업을 통하여 기대되는 효과, 활용방안 및 금후의 과제 등을 요약하면 다음과 같다.

제1절 연구개발사업의 주요결과

1. 우분뇨와 왕겨혼합물의 정치퇴적식 및 강제통기식 퇴비화 특성(洪 志亨)

축산농가에서 우분뇨를 시설채소농가의 지력증강을 위해서 퇴비를 제조할 때에 관행방식의 정치퇴적식(야적형 혐기성 처리)과 발효기간을 단축하고 발효열 및 탄산가스 등을 이용함과 동시에 완숙퇴비를 생산할 수 있는 강제통기식(퇴적 통기형 호기성 처리)의 발효온도와 성분변화를 비교 분석하기 위하여 퇴비화 실험을 수행하였으며, 얻어진 주요 결과는 다음과 같다.

가. 연속 및 간헐통기법에 의한 강제통기식 퇴비화 처리는 주발효 21일, 후숙 21일로서 숙성퇴비 제조에 소요되는 기간은 대체로 42일이었으나,

정치퇴적식 처리는 주발효 48일, 후숙 122일로서 전체 소요기간은 170일로 추정되었다.

나. 통기식 숙성퇴비의 주요성분은 수분 53.6%, 수소이온농도 7.33, 탄질비 19.2, 유기물잔존율 81.8%, 조회분 33.7% 등으로 취급관리와 작물재배에 적합한 범위를 이루고 있었다. 따라서, 시설채소 산업의 에너지 효율향상을 위해서는 관행의 정치퇴적식 퇴비화 방식을 지양하고 소요 퇴비량을 기초로한 강제통기식 퇴비화 방법이 바람직 하였다.

2. 퇴비화 처리가 지중온도 및 탄산가스 농도에 미치는 효과(洪 志亨)

시설채소재배 온실의 환경조절 기술개발을 위하여 퇴비화 온실에서 발생하는 발효열과 탄산가스가 온실 내의 온도환경(또는 열환경) 및 가스환경에 미치는 영향을 관행 온실과 비교 관찰하여 얻어진 주요 결과는 다음과 같다.

가. 퇴비화 온실의 지중온도변화는 21일간의 주발효기간에는 평균 28.5℃, 42일째에는 24.4℃이었으며 발효후 50일 이후부터는 퇴비 발효온도가 25.5℃, 지중온도가 23.3℃로 일정한 상태를 유지하였으며 관행 온실의 지중온도 15.1℃와 비교하여 8.2℃ 높은 온도를 유지하고 있었다.

나. 한편, 퇴비화 온실의 탄산가스 농도는 전 발효기간에 482-1154 ppm이었고, 같은 기간에 관행 온실의 경우는 440-462 ppm으로 1.7-2.6배의 차이가 있었으며 또한, 발효 후에도 퇴비화 온실은 756 ppm이며 관행 온실은 438 ppm으로 1.7배의 차이를 나타내고 있었다.

3. 퇴비화 발효열의 온실 지중가온에 있어서 열특성과 유효에너지(洪 志亨)

퇴비화 온실에서 발생되는 발효열을 지중난방에 보조에너지로서 활용하기

위하여 연속, 간헐통기법에 따른 강제통기식 지하형 퇴비화 장치의 발효조 벽면으로부터 방열되는 열량과 열적 특성은 다음과 같다.

가. 지중 방열량은 퇴비화 주발효기간에 82%가 집중적으로 발생되고 있었으며 70일간 발효처리할 때에 취득이 가능한 지중 난방열량은 퇴적퇴비재료 1m3당 397MJ이고 유효열량은 265MJ이었다.

나. 퇴비재료인 우분뇨와 왕겨 혼합물의 열전도계수는 주발효기간에 1.68 W/m℃K이고 후숙기간에 0.26W/m℃K이며 토양의 경우는 각각 1.99W/m℃K와 1.71 W/m℃K로서 주발효기간이 높고 퇴비가 토양보다 낮았다.

다. 퇴비화 온실과 관행 온실의 지온변화는 주발효기간(1-21일째)에는 28℃와 14℃로서 14℃차이를 나타내 보였고, 후숙기간(22-42일째)에는 25℃와 15℃로서 10℃의 차이를 보였으며, 발효후 70일째에는 23℃와 17℃로서 6℃의 차이를 나타내고 있었다.

라. 퇴비화 온실에서 퇴비 파일내부의 온도와 지중온도변화의 평균값은 주발효기간, 후숙기간에 각각 45℃와 28℃, 30℃와 25℃로서 17℃와 5℃ 차이가 있었으나 발효 후 70일째에는 24℃와 23℃로서 거의 같은 온도를 일정하게 유지되고 있어 발효열 발생이 없는 것을 알수 있었다.

4. 시간조절 방식에 의한 강제통풍 퇴적퇴비화 처리(洪 志亨)

퇴비재료의 강제통기 퇴적퇴비화 방식은 통풍형, 흡인형 및 간헐형 등의 여러가지가 있으나, 통풍형은 냉각현상으로 발효가 균일하지 못하고 악취가 많으며, 흡인형은 탈취가 가능하나 응축수가 많이 배출되고 있어서, 간헐형 강제통기방법을 사용하여 퇴비화 과정에서 일어나는 취기와 응축수를 최소화하고

발효를 균일하게 할 수가 있기에, 본 연구에서는 타이머로서 통기량을 조정하여 간헐통기 하였을 때에 퇴적 파일 각부의 온도변화와 성분변화를 관측한 결과는 다음과 같다.

가. 간헐통기법 퇴비화방식은 연속통기 주발효가 끝나는 6일째부터 퇴적 파일의 단면 크기에 따라서 발효온도를 45-60℃ 의 범위에 유지하도록 통기와 정지시간을 조정하였다.

나. 간헐통기과정의 주발효 온도분포는 재료의 수분과 배관내 공기압에 의하여 영향을 받으므로, 재료의 균일한 수분유지와 통기저항손실를 최소화해야 균일한 퇴비화 발효효율을 얻을 수 있었다.

다. 연속통기의 주발효 온도는 발효후 3-6일째에 평균온도 49-57℃를 나타내고 있었으며, 간헐통기의 주발효 온도분포는 발효후 17-21일째에 48-49℃를 나타내고 있었으며 후숙과정 발효온도는 발효 22일 이후부터 42일째 사이에 44℃에서 26℃로 변화되어 외기온도와 같은 상태에서 안정화를 이루고 있었다.

라. 퇴비재료의 화학적 성분변화는 발효후 6주째에 큰 변동이 없이 안정화되어 완숙조건을 나타내 보였다.

5. 정치퇴적식과 강제퇴적식 퇴비화 방식의 화학적 성분변화(孫 寶均)

우분뇨와 왕겨 혼합물을 관행의 정치퇴적식과 강제(간헐)통기식으로 10주간 퇴비화처리할 때에 퇴비재료의 유기물 분해특성을 조사한 결과는 다음과 같다.

가. 수소이온농도는 부숙 초기인 1-2주째에 9.0 수준으로 상승하였다가 그 이후 중성 부근으로 떨어 졌으며, 6주 이후부터는 정치식보다도 통기식에서 빠른 안정화를 나타내고 있었다.

나. 전 탄소는 부숙이 진행되는 동안에 감소되었는데 정치퇴적식에서는 초기 45%에서 10주후 39% 수준으로 감소하였으며, 강제통기식은 감소가 빨라서 6주 이후부터 38% 수준을 유지하였다. 전 질소는 두 방식간에 차이가 뚜렷하여 정치식은 부숙화에 따라 점점 증가되다가 8주 이후에는 2.3% 수준을 유지하였고, 강제통기식은 분해초기에 급격한 감소를 보였으나 7주 이후에 1.8% 수준을 유지하고 있었다. 탄질비의 경우는 두 방식간에 차이를 보이면서 완만하게 감소되었는데 6주일 후에는 정치식이 17, 통기식이 21 수준을 보였다.

다. 조회분과 일반 무기성분 함량의 변화는 전반적으로 부숙과 함께 증가되는 경향이었으며 강제통기식에서 이들의 함량이 높아졌다. 한편, 잔존 유기물은 퇴비화 기간의 경과에 따라서 감소되고 있었으며 강제통기식이 정치식보다 더 크게 저하되고 있었으며, 부숙후 6주째부터는 9% 정도의 차이를 보였다. 10주째에 이 두방식의 유기물 잔존율은 약80% 정도였다.

라. 무기질소 함량의 변화는 전반적으로 암모니아가 높고, 퇴비화 진행에 따라서 감소되었으나 강제통기식에서 다소 높은 경향을 나타내 보였다.

6. 퇴비화 온실에서 전기 및 연료에너지 소비량 분석(朴 金柱)

가축분뇨의 퇴비화과정에서 발생하는 열에너지를 활용하기 위하여 면적 54.6 m2의 퇴비화 온실을 제작하고 온실 내의 지중에 강제통기식 퇴비화 장치를 설치하여 발생열량을 온실가온에 이용하였다. 발생열량이 온실 가온에 미치는 효과를 분석하기 위하여 퇴비발효 장치가 없는 같은 면적의 관행 온실을 제작하여 퇴비화 온실과 같은 열환경을 조성하면서 토마토 작물을 재배 하였다. 퇴비가 제조되는 주발효기간 동안 퇴비화 온실과 관행 온실내의 작물 생

육 환경을 계측하고 난방을 위해서 소비되는 연료 소비량과 난방기 작동에 소요되는 전력량을 구하였다. 퇴비발효에 의한 발생열량이 에너지 절감에 미치는 효과를 분석하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 퇴비화 주발효와 후숙기간이 종료되는 42일간의 연료 소비량은 퇴비화 온실에서 652.2L, 관행 온실에서 665.4L로서 1일 평균 연료 소비량은 퇴비화 온실이 15.5L/일, 관행 온실이 15.8L/일로 나타났다. 퇴비화 발효열에 따른 연료의 절감 비율은 2%정도인 것으로 나타났다.

나. 온실 난방기의 전력 소모량은 42일이 경과한 다음에 적산전력계에 나타난 값으로 구했으며, 퇴비화 온실에서 74.9kWh, 관행 온실에서 83.4 kWh로 나타났다.

다. 주발효와 후숙기간 중에 단위면적(ha)당 소비된 연료 및 전력량을 에너지로 환산하여 퇴비화 온실과 관행 온실의 값을 비교하여 본 결과 퇴비화 온실에서는 5,802,600MJ/ha이며, 관행 온실에서는 5,935,300MJ/ha로 나타났다.

7. 퇴비화 온실의 토마토 재배효과(梁 元模)

퇴비화 온실의 작물생육 , 수량 및 품질 등을 관행 온실과 비교분석한 결과는 다음과 같다.

가. 주근장을 제외하고는 전체적으로 관행 온실보다 퇴비화 온실이 토마토 생육이 양호하였다. 특히, 경경의 경우는 정식 1개월 후부터 그 차이가 뚜렷하게 나타났으며 2개월 후에는 직경 약 1cm의 차이가 나타났다. 엽, 경, 근의 생체중 및 건물중도 생육이 진전됨에 따라 퇴비화 온실에서 현저히 증가 하였다.

나. 방울토마토의 경우, 개화수와 착화수는 퇴비화 온실이 높았으며, 과중은

거의 비슷하거나 같았다. 그러나, 일반토마토의 경우는 모든 항목이 퇴비화 온실에서 높게 나타나 그 효과가 현저하였다. 퇴비화 온실의 총 수확과수와 수확 총중량은 생육이 진전됨에 따라 관행 온실보다 많아졌으며 일반토마토에서는 그 경향이 현저 하였다.

다. 퇴비화 온실에서 재배된 방울토마토의 평균당도는 8.51-9.24인 반면에 관행 온실에서는 7.0-8.98로 나타났으며, 일반토마토의 경우는 퇴비화 온실이 6.48-7.5인 반면에 관행 온실에서는 5.88-5.93으로 나타나 퇴비화 온실의 토마토 당도가 약 1도 정도 높았다.

8. 우분뇨와 왕겨 혼합물의 간헐통기 퇴비화과정에서 암모니아 휘산(洪 志亨)

우분과 왕겨혼합물을 회분식 발효조에서 간헐통기법으로 퇴비화 처리할 때에 발효온도와 암모니아 휘산농도의 변화는 다음과 같다.

가. 암모니아 휘산농도는 주발효 후 2일째에 급격히 상승했으며 4-6일 동안 같은 수준에 있었으며, 6일째에 퇴비온도가 65oC를 넘어들자 점점 감소하기 시작하여 취기를 감지할 수 없게 되었다.

나. 최대암모니아 농도는 발효후 4-6일째로서 79-117ppm이며 이때의 발효온도는 65oC 이상이었으며, 암모니아 휘산의 안정화는 주발효 15일이 지난 후에 이루어졌다.

다. 퇴비재료의 탄질비가 35.2로서 적정범위 30이하보다 다소 높아 퇴비화 처리에 소요시간이 길어지는 경향을 보였다.

9. 우분뇨와 왕겨 혼합물의 급속퇴비화 과정에서 통기량이 암모니아 휘산에 미치는 영향(洪 志亨)

가. 유우분과 왕겨의 혼합물을 12.3L의 발효조에서 적정 통기량으로 알려진 범위 내에서 통기량을 3수준으로 하여 연속통기 퇴비화처리하면서 암모니아의 휘산특성 등을 분석하였다.

나. 응축수는 통기량 57L/m3.min. 및 90L/m3.min. 에 비하여 73L/m3.min. 의 통기량에서 가장 많게 나타났다.

다. 최대 암모니아 휘산은 발효개시 후 48시째 퇴비화 온도 60-65℃ 에서 유해 수준인 720-1000ppm을 나타내고 있었다.

라. 퇴비화의 암모니아 휘산 비율에서, 216시간 동안의 고농도 암모니아 100-1000ppm은 통기량에 따라서 차이를 보이고 있었다.

마. 통기량이 암모니아 휘산에 미치는 영향은 현저하게 나타났으며, 3수준의 통기량 중에서 73L/m3.min.에서 암모니아 휘산이 가장 적게 발생하였다.

제2절 연구개발 사업결과로 예상되는 기대효과

유기성 폐기물 호기성 고형퇴비화 처리방법 가운데 간헐강제통기식 퇴비화 공법은 완숙퇴비 제조는 물론, 퇴비제조 과정의 부산물인 발효열, 탄산가스를 동계 시설채소 재배온실에 유효이용이 가능하고 또한 암모니아가스의 발생은 통기량 조절에 의하여 저감시킬 수 있는 것으로 분석되었다.

1. 기술적측면:

가. 간헐통기식 퇴적퇴비화 공법:---- 발효개시 후 6주째에 숙성퇴비 제조

나. 동계 시설채소 재배온실의 환경개선:---발효열의 지중 축열난방, 탄산가스농도 증대

다. 퇴비화과정의 악취 저감:---- 발효후 2주째에 암모니아가스 피해 방지

2. 경제적측면:

가. 연료에너지:-----퇴비화 온실에서 토마토재배의 경우에 온실난방용 연료와 전력에너지 소비량은 퇴비화 발효 6주간 동안에 같은 규모의 관행 온실에 비하여 약 2%가 절감되었다.

나. 작물재배:------ 퇴비화 온실의 작물 생장, 수량 및 품질(당도)등의 효과는 관행 온실과 비교할 때에 현저한 차이를 나타내었다.

다. 퇴비제조 비용절감:----- 퇴비장치는 고정된 지하식 발효조로서 유지관리비가 적다.

3. 기타, 간접적측면:

가. 가축분뇨 자원화로서 축산업의 공해방지.

나. 시설채소농지의 지력증강.

다. 환경보전형 지속적 농업기술로서 실용화 보급가능.

제3절 연구개발사업 결과의 활용방안

농업생산활동에서 배출되는 농축산폐기물의 호기성 고형퇴비화처리로서 살균처리된 숙성퇴비를 단기간에 생산할 수 있고, 동시에 제조과정에서 발생되는 부산물인 발효열 및 탄산가스로서 동계온실의 열환경과 가스환경을 개선할 수 있었다. 퇴비화 과정에서 발생하는 암모니아가스는 발효후 2-3주가 지나면 유해가스 허용범위 이내로 저감되어 작물재배가 가능하였다.

따라서, 가축분뇨의 퇴비화처리에 의하여 환경오염을 방지하고, 시설원예온실의 열 및 가스환경 개선, 지력증강을 통하여 농산물의 품질 및 수확량을 증대함으로써 농업 경영의 안정화에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

1. 농축산폐기물 자원화 이용:---- 강제통기식 퇴비화처리 공법

2. 퇴비화 온실의 환경 개선:-----동계 시설채소의 열환경 및 가스환경개선

3. 퇴비화 악취 제거:----- 작물 피해 방지 및 생물학적 탈취처리

제4절 연구개발 성과에 대한 금후의 과제

유기계 폐기물의 호기성 고형퇴비화 기술 및 퇴비화 온실의 환경 조절 기술의 체계화로서 환경보전형 지속적 농업 기술을 실용화 보급하는데 문제점과 대응 방향은 다음과 같다.

1. 퇴비화 재료의 반송시스템 제작

   퇴비화 발효조에 퇴비를 적재 또는 꺼내는데 노동력이 많이 필요하며, 이의 해소를 위해서는 퇴비화 재료의 취급을 위한 반송기계의 제작이 요구된다.

2. 탈취처리시설에 대한 연구

   퇴비화 개시후 약 15일간 주발효과정에서 발생되는 암모니아가스의 탈취시설에 대한 연구가 요구된다. 배기가스의 토양 및 퇴비 탈취처리시설에 대한 처리성능을 파악하고 또한 다른 탈취재의 개발 등이 요구된다.

3. 퇴비화 발효효율 개선을 위한 연구

   탄질비, 수분함량 등의 초기퇴비재료의 조건과 통기량, 통기방법 등의 작동조건에 의한 미생물의 활성화 상태에 대한 분석을 통하여 발효효율을 향상시킨다.

참고문헌

Reference

제1장

1. 농림수산부. 1970-95. 농림수산부 통계.
2. 농촌진흥청. 1988. 토양화학분석법. 농업기술연구소.
3. 박병원. 1994. 시설채소 원예 현대화 시책과 장기육성계획.경상대 시설원예 논문집 pp.13-29.
4. 정광용. 1996. 가축분뇨 이용과 문제점.한국축산시설환경학회 학술발표논문집 pp.45-70.
5. Hakamata, T. 1990. The effect of animal wastes on water pollution and agricultural environment, Proc. of the Int,l Symp. Environ. Pollut. Agr. pp.59-70.
6. Hong, J. H. 1993. Some technical aspects of composting. Proc. of the Int,l Conf. for Agr. Mach. and Process Enging. KSAM, pp.526-535.

제2장

1. 정광용. 1996. 가축분뇨 이용과 문제점.한국축산시설환경학회 학술발표논문집 pp.45-70.
2. 홍지형. 1994. 프리스톨 우사의 유우분뇨 퇴비화처리. 한국농공학회지 36(3):34-40.
3 .홍지형. 1988. 호기성발효 퇴비화에 의한 농축산 및 기타 유기성 폐기물의 녹농지 환원이용. 한국농업기계학회지 13(3):81-90.
4. Matsuda, J. 1987. Forced air for compost making. Farming mechanization (No.2839) pp.13-15.

5. Hong, J. H. 1994. Controlling factors in open composting process. Proc. of the 12th World Congress on Agr. Enging., CIGR, Vol.2: pp.1553-1559.

6. Hong, J. H. 1993. Some technical aspects of composting. Proc. of the Int,l Conf. on Agr. Mach. and Process Enging., KSAM, pp.526-535.

7. Harada, Y. 1991. Composting technology of livestock wastes. Farming Japan.25(4):21-27.

8. Stentiford, E. I., D. D. Mara, P. L. Taylon and T. G. Leton. 1983. Forced aeration co-composting of domestic refuse and sewage sludge. Proc. of the Intl Conf. on composting of solid wastes and slurries. pp. 58-72.

9. Nakassaki, K., M. Shoda and H. Kuboda. 1985. Effect of temperature on composting sewage sludge. Applied Environ. Microbial. 50:1526-1530.

10. Hoitink, H. A. J. and H. M. Keener 1993. Science and Engineering of Composting. OARDC, Wooster, OH.

제3장

1. Baines, S., I. F. Svoda, and M. R. Evans. 1986. A computer program for caculation of the extractable heat from aerobic treatment of animal wastes. Jour. of Agr. Enging. Res. 34(2):133-140.

2. Fulford, B. 1983. Biothermal energy: cogenerants of thermophilic composting and their integration within food processing and waste recycling systems. Proc. of the Int,l Conf. on composting of solid wastes and slurries. pp. 222-235.

3. Knapp, D. 1988. Composting in a solar greenhouse for CO2 and heat. The solar greenhouse Book, Ed. J. McCullagh, Rodale Press, Emmaus, PA.

4. Matsuda, J. 1992. Manure control. Dairy Man Co. (In Japanese), Sapporo, pp.113-119.

5. Sardinsky, R. 1979. Greenhouse CO2 dynamics and composting in a solar heated bioshelter, Proc. of the 2nd Nat,l Enegy Conserving Greenhouse Conf., ASAE, Newark, Del. 6. Seki, H. and T. Komori. 1985. A study of extraction and accumulation of heat generated in composting process. Jour. of Agr. Meteorology 41(3):257-264.

7. Seki, H. and T. Komori. 1987. Application of heat generated in compost to soil warming. Jour. of Agr. Meteorology 43(3):189-202.

제4장

1. Aoyagi, M. and K. Suganuma. 1987. Utilization of the ferment heat generated in composting process of livestock wastes as a heat source for greenhouse. Res. Bull. Aichi Agr. Res. Cntr. 19:216-222.

2. Iwabuchi, K. and J. kamide. 1993. Simplified determination of thermal properties for moist and porous materials -Measurement of thermal properties of compost- Jour. of the Japan Soc. of Agr. Machinery. 55(3):73-79.

3. Iwabuchi, K. and J. kamide. 1992. Simplified determination method for thermal properties of moist materials. Jour. of the Japan Soc. of Agr. Structures 22(3):3-7.

4. Schuchardt, F. and H. W. Orth. 1978. Heat extraction during composting of agricultural wastes. Landbauforshung Volkenrode 28(3):179-187.

5. Seki, H. and T. Komori. 1989. An investigation of practical process design and control of a soil warming system with heat generated in

compost. Jour. of Agr. Meterology 44(4):259-267.

6. Seki, H. and T. Komori. 1987. Application of heat generated in compost to soil warming. Jour. of Agr. meteorology 43(3):189-202.

7. Seki, H. and T. Komori. 1983. Heat trasfer in composting process. Jour. of Agr. Meterology 39(3):173-179.

제5장

1. de Bertoldi, M., A. Citterio, B. and Civilimi, M. 1988. Composting management: A new process control through oxygen feedback. Waste Management and Research 6: 239-260.

2. Gasser, J. K. R. 1984. Composting of Agricultural and Other Wastes, Elsevier Co. NY.

3. Hoitink, H. A. J. and Keener, H. M. 1993. Science and Engineering of Composting, OARDC, Wooster, OH.

4. Hong, J. H. 1994. Controlling factors in open composting process. Proc. of the 12th world congress on Agr. Enging., CIGR Vol .2 pp.1553-1559.

5. Leton, T. G. and Stentiford, E. I. 1990. Control of aeration in static pile composting. Waste Management and Research 8: 299-306.

6. Matsuda, J. 1987. Forced air for compost making, Farming mechanization No. 2839, pp.13-15.

7. Miller, F. C. 1991. Biodegradation of solid waste by composting. Biological Degradation of Wastes, Elsevier Co., NY pp. 2-30.

제6장

1. 농림수산부. 1995. 농림수산부 통계
2. 농촌진흥청. 1988. 토양화학분석법. 농업기술연구소.
3. 임동규,신재성.1991.우분의 유기질비료화 연구. I. 부숙조건에 관한 연구. 한국토양비료학회지 24(2):130- 136.
4. 임동규,우윤호,신재성,우기대.1991. 우분의 유기질비료화 연구. II. 속성부숙방법. 한국토양비료학회지 24(3):192- 199.
5. 정이근.1995. 유기성폐기물 비료화 정책의 문제점과 대책. 유기성폐기물 비료화의 문제점과 대책에 관한 심포지움 논문집. 한국토양비료학회, pp.46- 69.
6. 황광남.이상규.1970. 양질퇴비제조방법시험. 농기연시험연구보고서. pp.647- 658.
7. Alexander, M. 1977. Introduction to Soil Microbiology. 2nd Ed., John Wiley & Sons, NY.
8. Harada, Y., M. Tadaki and T. Izawa. 1981. Maturing process of city refuse compost during piling. Soil Sci. Plant Nutr. 27(3):357- 364.
9. Harada, Y. 1990. Composting and application of animal wastes. FFTC extension Bull., 311: 19- 31.
10. Miller, F. C. 1992. Composting as a process based on the control of ecologically selective factors. In; Soil microbial ecology(F. Blaine Metting, Jr. Ed.) Marcel Dekker, NY. pp. 514- 544.
11. University of California at Berkely. 1953. Reclamation of municipal refuse by composting. Tech. Bull. No.9 Sanitary Engineering Research Project.
12. 藤原俊六郎,鎌田春海.1983.おかくつ混合家畜糞堆肥の腐熟度と作物生育.農業

およひ園藝 58(10): 1293- 1297.

13. 原田靖生, 井子昭夫, 管原和夫, 宮松一夫, 伊澤敏彦. 1982. 都市こみコンホスト有機成分組成の 特徵と腐熟度の判定. 日土肥誌 53(2):116- 122.

14. 農文協. 1995. 畜産環境對策大事典. 東京. pp.144.

15. 農水産省草地試驗場.1983. 昭和58年度 家畜糞尿處理利用研究會資料. pp.1- 61.

16. 尾形 保. 1976. 家畜糞尿土壤還元利用. 肥料と環境保全.ソフトサイエス社. pp.295- 344.

제7장

1. 김영중. 1993. 우리나라 벼 생산과정에서의 에너지 사용량의 추정. 한국농업기계학회지 18(1): 71- 77.

2. 홍지형.1995. 시설채소생산시스템의 순 에너지 분석. 한국농공학회지 37(1):55- 64.

3. Bridges, T. C. and E. M. Smith. 1979. A method for determining the total energy input for agricultura practices. Transactions of the ASAE, pp. 781- 784.

4. Chancellor, W. J. 1979. The role fuel and eletrical energy in increasing production from traditionally based agiculture. Transactions of the ASAE, pp.1060- 1067.

5. Fluck, R. C. 1985. Energy sequestered in repairs and maintenance of agriculture machinery. Tansactions of the ASAE, pp.738- 743.

6. Fluck, R. C. 1981. Net energy sequestered in agricultural labor. Transactions of the ASAE, pp. 1449- 1455.

7. Vergara, W., M. A. Rao and W. K. Jordan. 1978. Analysis of direct

energy usage in vegetable canneries. Transactions of the ASAE, pp.1246-1249.

8. Whitehead, W. K. and W. L. Shupe. 1979. Energy requirements for processing poultry. Transactions of the ASAE, pp.889-893.

제8장

1. ASAE. 1994. EP 470. Manure storage safety. ASAE, St. Joseph, MI.

2. Mastalerz, J. W. 1977. The Greenhouse Environment. John Wiley & Sons, pp.229-330.

제9장

1. ASAE 1994a. EP 379. Control of manure odors. ASAE, St. Joseph, MI.

2. ASAE 1994b. EP 470. Manure storage safety. ASAE, St. Joseph, MI.

3. Horst, W. G., F. Mattan, S. H. Vold and J. M. Walker. 1991. Controlling compost odors. BioCycle 32(11): 46-51.

4. Kirchman, H. and E. Witter. 1989. Ammonia volatilization during aerobic and anaerobic manure decomposition. Plant and Soil, 115: 35-41.

5. Kack, M., J. Beck and T. Jungbluth. 1994. Low emission dairy waste management by separating and composting- Dairy systems for the 21st century- Proc. of the 3rd Int,l Dairy Housing Conf. pp.443-453.

6. Kack, M., T. Jungbluth and J. Beck. 1993. Ammoniakemissionen bei der kompostierung tierischer exkremente. Landtechnik 48, No.8/9 pp.428-430.

7. Midwest Plan Service. 1985. Livestock Waste Facilities Handbook. MWPS-18. Iowa State Univ., Ames. IA.

8. Rynk, R. et al. 1992. On Farm Composting Handbook. NRAES-54. NRAES, NY.

9. USEPA. 1992. Draft guidelines for controlling sewage sludge composting odors. OWEC, Washington, DC.

10. Walker, J. M. 1993. Control of composting odors. In: Science and Engineering of Composting, Renaissance Publications, Worthington, OH. pp.186-218.

제10장

1. ASAE 1994a. EP 470. Manure storage safety. ASAE, St. Joseph, MI.

2. ASAE 1994b. EP 379. Control of manure odors. ASAE, St. Joseph, MI.

3. Hong, J. H., J. Matsuda and Y. Ikeuchi. 1983. High rapid composting of dairy cattle manure with crop and forest residues. Transactions of the ASAE, pp. 533-545.

4. Horst, W. G., F. Matten, S. H. Vold and J. M. Walker. 1991. Controlling compost odors. BioCycle 32: 46-51.

5. Kirchman, H. and E. Witter. 1989. Ammonia volatilization during aerobic and anaerobic manure decomposition. Plant and Soil. 115: 35-41.

6. Kack, M., J. Beck and T. Jungbluth. 1994. Low emission dairy waste management by separating and composting.-Dairy systems for 21st century- Proc. of the 3rd Int,l Dairy Housing Conf. pp.433-453.

7. USEPA. 1992. Draft guidelines for controlling sewage sludge composting odors. OWEC, Washington, DC.

8. Walker, J. M. 1993. Control of composting odors. In; Science and Engineering of Composting. Renaissance Publications, Worthington, OH. pp. 186-218.

부록 : 측정변수의 명명법

Appendix : Nomenclature of Measuring Variables

1. First letter
   - Carbon Dioxide Concentration: C
   - Temperature: T
   - Relative Humidity: H
   - Fuel Level of Tank: F

2. Second letter
   - Biothermal Composting House: B
   - Traditional Plastic House: P
   - Outside of Plastic House: O
   - Composting Material: M

3. Third letter
   - Soil Surface: S
   - Underground: U

CB: Carbon Dioxide Concentration in Bio-composting House
CP: Carbon Dioxide Concentration in Traditional Plastic House

TB1 - TB5: Temperature in Bio-composting House
TBS: Temperature of Soil Surface in Bio-composting House
TBU1 - TBU3: Temperature of Underground in Bio-composting House
TP1 - TP2: Temperature in Traditional Plastic House
TPS: Temperature of Soil Surface in Traditional Plastic House
TPU: Temperature of Underground in Traditional Plastic House
TO1 - TO2: Temperature, Outside of Plastic House
TOU: Temperature of Underground, Outside of Plastic House
TM1 - TM9: Temperature inside Composting Material

HB: Relative Humidity in Bio-composting House
HP: Relative Humidity in Traditional Plastic House
HO: Relative Humidity, Outside of Plastic House

FB: Fuel Level of Tank in Bio-composting House
FP: Fuel Level of Tank in Traditional Plastic House

주　　　　의

1. 이보고서는농림부에서시행한농림수산특정연구사업의 연구보고서입니다.

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

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