

畜糞尿處理를 위한 Bin형 부숙조—Sundry 시스템의 堆肥化效率 評價

Composting Effectiveness of A Sundry System with A Bin-type Composter for Recycle of Animal Wastes

崔 弘 林* · 金 鉉 台* · 鄭 永 倫**
Choi, Hong Lim · Kim, Hyun Tae · Chung, Young Ryun

Summary

A sundry system with a horizontal bin-type composter was constructed and operated to evaluate its composting performance for four days for each test in October, 1992. A sundry system is one of popular systems for composting livestock manure, of which main benefit is to utilize unlimited, clean, and free solar radiation. A rectangular concrete bin(composter) with dimension of 300cm(length)×90cm(width)×60cm(height) was bedded alternatively with four lanes of aeration pipes and heating pipes, and was insulated at three walls with 50mm styrofoam. Each aeration pipe of a diameter of 25mm had 4mm perforated holes at every 15cm longitudinally, and supplied air of about 2m³/min to the composter to maintain aerobic condition. A stirrer rotating at 1rpm made one round trip every 20 minutes on the conveying chain along the the length of the composter.

Five tests (Test 1~Test 5) were implemented to evaluate the composting effectiveness of a sundry system with a horizontal bin-type composter. Treatments of two levels of the mixture ratio of swine manure and paper sludge cakes(manure : paper sludge cakes=1 : 4 and 1 : 2) and two levels of the water content(W/C ; 70% and 50%) were made to test the significance of the physico-chemical properties for decomposition of the mixture materials. Temperature, C/N ratio, water content, microbial activity of the composting materials were taken measurements to evaluate its performance with the lapse of composting time for tests. A small-scale sundry system with a bin-type composter did not appear to be an appropriate

* 慶尙大學校 農科大學

** 慶尙大學校 自然科學大學

키워드 : 축분뇨, 함수율, C/N비, 온도,曝氣量, 腐熟, 고온성 미생물, 중온성미생물

system for composting livestock manure. Since heat generation by the composting materials could not overcome heat loss due to aeration in a small-scale composter, a proper thermal environment could not be maintained to propagate massively thermophilic microorganism relatively in a short period of time. Different from the result of Choi et al.(1992)⁶⁾, a temperature variation of the composting materials did not show the peak clearly and C/N ratio didn't lower with time as expected. Mesophilic microorganism seemed to play an important role for decomposition of the mixture materials. A sundry system with a bin-type composter may be good for a large-scale livestock farm household which may produce enough animal manure. Therefore a decision should be made very carefully to choose a system for composting livestock waste.

I. 緒 論

1. 研究의 背景

Table-1은 1992년 12월 현재 사육두수를 기준으로 우리나라에서 하루 발생하는 축종별 BOD기준 오염물질량을 나타낸 것이다. Table-1에서 보듯이 오염물질의 발생량은 京畿道, 慶北, 忠南, 慶南 순으로 많은 것으로 나타났으며, 단위면적당 발생량도 경기도가 가장 높으나 그의 지역은 총발생량과 일치하지는 않는다. 이는 養畜이 특정지역에 집단으로 이루어지고 있기 때문에 道別 단위면적당 BOD발생율을 오염의 심각성도와 연관지어 해석하는 것은 바람

직하지 않다. 축분뇨의 오염물질발생량을 축종별로 살펴보면 소 43%, 돼지 40%, 닭 17%의 순으로 나타나고 있으며, 분뇨별로 살펴보면 소 BOD의 95%를 糞成分이 5%가 尿成分이 차지한다. 그러나 尿는 處理容積이 糞보다 크고, 액체이므로, 실제 현장에서는 糞보다 尿를 管理하는데 어려움이 많다.

실제로 오염물질 부하량(BOD 부하량)은 오염원에서 배출되어 수질에 직접 영향을 주는 오염물질의 양으로, 축분뇨처리시설을 한 경우 처리효율을 100%로 가정하여 총발생량에서 처리량을 뺀 BOD량을 말한다.

환경처 통계²⁾에 의하면 소(乳牛, 韓牛, 肉牛

Table-1. BOD effluent by province¹⁾

Unit : ton/day

Livestock/ Province	Dairy & Beef cows	Swine	Poultry	Total	Proportion (%)	U.P.R.* (kg/km ² · day)
Gyeonggi	329.5	239.1	151.2	712.6	28.0	61.0
Gangwon	83.4	39.2	17.0	139.6	5.5	7.5
Choongbuk	67.9	41.0	18.2	127.1	5.0	7.9
Choongnam	110.5	184.6	55.2	350.3	13.8	17.1
Jeonbuk	82.0	76.9	45.8	204.7	8.1	25.4
Jeonnam	148.8	82.6	22.9	254.3	10.0	25.7
Gyeongbuk	190.9	125.7	72.9	389.5	15.3	19.6
Gyeongnam	149.3	118.5	42.0	309.8	12.2	25.2
Cheju	21.1	26.4	5.0	52.5	2.1	28.8
Total	1,085.8	1,024.4	430.2	2,540.4	100.0	

주) *U.P.R.(단위면적당 발생량) = 총BOD발생량/도별 면적

등)에 의한 총오염물질 발생량이 약 33%가 미처리되며, 돼지의 경우 약 28%가 미처리된다고 보고하였다. 이를 BOD량으로 환산하면 하루 약 644톤이 아무런 처리없이 湖沼에 유입 또는 농지에 환원됨을 뜻한다. 소의 경우 법정대상농가(「오수·분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률」에 의한 신고대상규모 이상)에서 발생하는 총 BOD량이 發生全量의 약 5%, 돼지의 경우 약 52% 정도 밖에 되지 않을 정도로 양축농가가 영세하며, 畜牛農家の 약 95%, 養豚農家の 약 48%가 법적규제대상이 아니며, 법규제대상 농가의 축산폐수시설이 설치만 되어 있으면 처리효율을 100%로 가정하였기 때문에 약 640여톤의 미처리 BOD량은 과소평가한 값으로 실제 미처리량은 이보다 훨씬 많을 것으로 판단된다.

농촌진흥청³⁾에 의하면, 우리 나라 토양의 유기물함량은, 논인 경우 1960代 후반 평균 2.6%에서 1980年代에는 2.3%로 약 10%정도 감소하였으며, 밭의 경우도 1980代 미국과 일본의 절반 이하인 평균 2.0%에 머무르고 있다. 이러한 유기물의 감소는 작물재배 때 값싸고 施肥에 편리한 화학비료를 장기적으로 과다하게 사용하여, 퇴비 등과 같은 유기질비료의 사용량 감소에서 비롯된 것으로 판단된다. 토양 중의 유기물함량의 저하는 토양의 單粒化와 酸性化를 가속시켜 토양의 생산효율을 저하시키는 결과를 초래한다. 또한 장기적으로 과다하게 사용된 화학비료는, 灌溉水나 토양중으로 유출되어 과잉질소, 인산원의 형태로 湖沼에 유입되어 富營養化(eutrophication) 현상을 일으켜 수질을 악화시킨다.

농촌경제연구원⁴⁾에 의하면 1989년을 기준으로 가축분뇨를 비료의 가치로 환산하면 매년 약 300여만톤에 이르며, 이는 연간 850여만톤의 화학비료 생산량에 상당하는 양이라고 보고하였다. 만약, 미처리 축분뇨를 添孔劑(bulk agents)와 함께 퇴비화하여 농지에 환원하면, 무단 방류로 인한 수질오염을 줄일 수 있을 뿐 아니라 화학

비료 대체효과를 가지며, 토양의 理化學的 특성을 개선하는 효과도 있다. 그러므로 최근 養畜이 집단화, 대규모화, 고밀도화하면서 발생하는 다량의 축분뇨를 퇴비화하는 효과적인 처리시스템개발에 대한 연구가 활발하다.

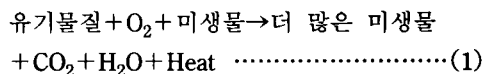
2. 研究의 目的

본 연구는 專業 養畜農家를 위한 獨立的 축분뇨 처리시스템을 개발하기 위한 기초 실험 연구로서, bin형 부숙조, sundry 시스템을 처리시스템으로 선택하여 이의 비료화성적을 평가하기 위하여 다음 사항을 수행하였다.

- ① bin 부숙조, sundry 시스템의 부숙성적평가
- ② 혼합슬러지의 혼합비가 부숙도에 미치는 영향
- ③ 혼합슬러지(제지슬러지+돈분뇨)의 온도와 실내온도의 差가 혼합슬러지의 부숙도에 미치는 영향
- ④ 혼합슬러지의 초기 함수율 補正이 부숙도에 미치는 영향
- ⑤ 혼합슬러지의 經時別 미생물 密度분석

II. 畜糞尿處理시스템

畜糞尿 처리의 한 방법으로 본 연구에서는 에너지 회수보다 유기물질의 回收를 위해서 好氣性(aerobic) 미생물을 이용한 堆肥化(composting)를 선택하였으며, 호기성 조건하의 유기물질의 화학반응은 식(1)과 같다.



이 반응에서 총에너지의 30~80% 가량이 미생물형성에 소모되고 나머지는 이산화탄소, 물, 열로 배출되므로 실제로 에너지 回收가 불가능하다. 이런 부숙화과정에서 슬러지가 안정화되어 생긴 유기물질을 얻는 것은 물론이고, 과정중 발생하는 열로 인해 병원균, 잡초씨, 충란 등을

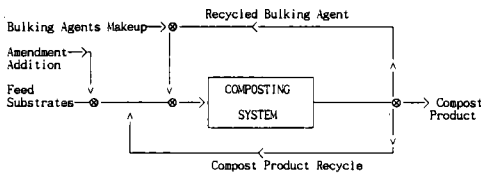


Fig. 1. Process schematic for composting system⁵⁾

제거할 수 있다. 축분뇨는 다른 폐기물에 비해서 비교적 균일하게 구성되어 있으므로 처리방법으로 퇴비화법이 가장 무난할 것으로 여겨진다. Fig. 1은 일반적인 퇴비화시스템의 공정체계도를 나타낸 것이다.

툽발효시스템은 정부(환경처, 농림수산부 등)에서 권유하고 있는 축분뇨 처리시스템으로서 축분뇨가 지속적으로 발생하고, 撒布農地가 제한되어 있는 우리나라의 양축농가에서 特異하게 채택하고 있는 시스템이다. 그러나 툽발효시스템은 시설 후 5年 分岐點으로 경제성에 대한 평가가 엇갈리기 때문에¹⁾ 본 연구에서는 sundry 시스템을 채택하였다. 퇴비화시스템의 선택을 하기 위해서는 몇 가지 基準을 세울 필요가 있다. 우선, 시스템의 기계적인 처리효율이 설계수준을 충족시켜야 하고, 둘째, 이를 경제적(초기투자 및 운영비)으로 수용할 수 있어야 하며, 셋째, 축분뇨처리가 기초 정주권역의 생산 및 생활환경에 부담이 되지 않아야 한다. 그러므로 앞에서 언급한 선행조건을 검

토한 결과, 그린하우스에 U字 bin型の 부숙조를 설치하여 수동적으로 태양복사열을 이용할 수 있는 sundry 시스템을 본 연구의 시스템으로 채택하여 이의 퇴비화 효율을 평가하였다.

III. 實驗裝置 및 方法

1. 實驗裝置의 設計 및 施工

가. 시스템의 設計 및 構成

본 연구의 축분뇨처리시스템은 비닐하우스를 보호시설물로 한 sundry 시스템이며, 연구책임자가 이미 수행한 관련연구⁶⁾에서 슬러지의 부숙속도에 영향을 미치는 환경변수의 적정범위를 적용하였다. 이 중 특히 부숙속도가 슬러지의 온도환경(슬러지의 자체온도 뿐만 아니라 주위 온도)에 크게 영향을 받는다는 사실을 알았다. 그러므로 외기온이 낮은 겨울철에 보온을 위하여 길이가 약 10m, 폭이 약 7m, 양측벽 높이가 1.2m, 지붕의 높이는 2.8m인 반원형 單棟 비닐하우스를 약 0.12mm 두께의 홀겹비닐로 피복하였다. 축분뇨의 부숙기간중 발생하는 악취의 제거나 쾌적한 작업환경을 유지하기 위해서 입구 맞은 편 벽에 두 개의 환기팬을 설치하였다. Fig. 2와 Fig. 3은 비닐하우스내 개방부숙조의 평면도 및 단면도를 나타낸 것이다.

부숙조는 길이 300cm, 폭 90cm인 윗면이 개방된 bin형 콘크리트 구조물이며, 실험을 쉽게 수행할 수 있도록 높이를 60cm로 하였다.

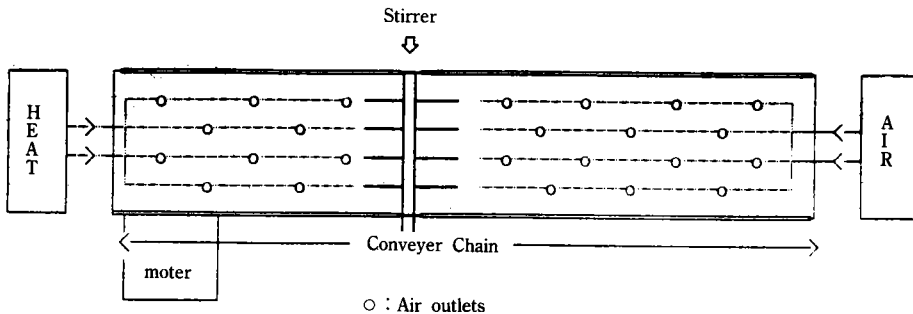


Fig. 2. Plane section of the aerated bin-type composter

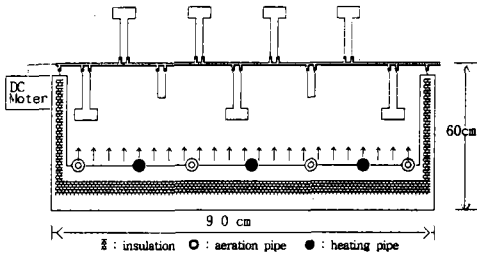


Fig. 3. Cross-section of the bin-type composter and stirrer

부속조의 바닥에는 지름이 25mm의 PVC관 4개를 等間隔으로 매설하여, 각 PVC관에 15cm 等間隔으로 지름이 4mm인 천공으로 공기를 공급하여 축분뇨의 부속 때 好氣性분해가 가능하도록 하였다. 축분뇨는 주로 高溫性(thermophilic)미생물에 의해서 부속이 진행되므로 혼합슬러지를 적정온도로 유지하는 것이 매우 중요하다. 본 실험에서 한 batch에 사용한 슬러지의 양은 약 0.63톤 정도로 분해 때 발생하는 부속열로 혼합슬러지 自體를 보온할 수 없으므로 혼합슬러지의 온도를 적절히 유지시켜 주기 위하여 연탄보일러를 설치하였다. 또한 슬러지의 부속을 가속시키기 위해서 교반을 통하여 슬러지를 공기에 많이 노출되게 하였다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 로터리식으로 이동회전하

는 교반장치는 부속조 위에 설치하였으며, 로터리는 지름 50mm강봉에 길이 25cm, 폭 3cm, 두께 5mm의 강판을 10cm 등간격으로 서로 120°되게 부착하였다. 회전속도는 D.C. 감속모터를 이용하여 회전수는 임의로 조절할 수 있도록 하였으며, 2중체인으로 연결하여 회전하는 동안에 이동할 수 있게 설치하였다.

나. 제어장치의 設計 및 構成

생분해성 축분뇨를 유기질비료로 재활용하기 위해서는 부속의 가속화가 요구된다. 부속의 가속화, 즉, 축산분뇨의 퇴비화과정의 효율화를 위해서는 부속도에 영향을 미치는 변수들인 온도, 함수율, C/N비 및 曝氣率 등에 대한 적절한 제어가 요구되며, 또한 각종 자료의 정확한 취득과 입력, 조작기기의 적절한 제어가 가능한 모니터링 시스템의 도입도 함께 요구된다. 그러므로 본 연구에서 수행한 혼합슬러지의 부속화실험에는 개발한 모니터링 시스템과 혼합슬러지를 부속시키기 위한 반응조로 이루어져 있다. 여기에서 모니터링 시스템은 부속도의 가속을 위한 조작기기부와 부속화과정을 감지하기 위한 자료취득부, 이들을 총괄제어하는 퍼스널 컴퓨터 및 소프트웨어로 구성되어 있으며, 구성도는 Fig. 4와 같다.

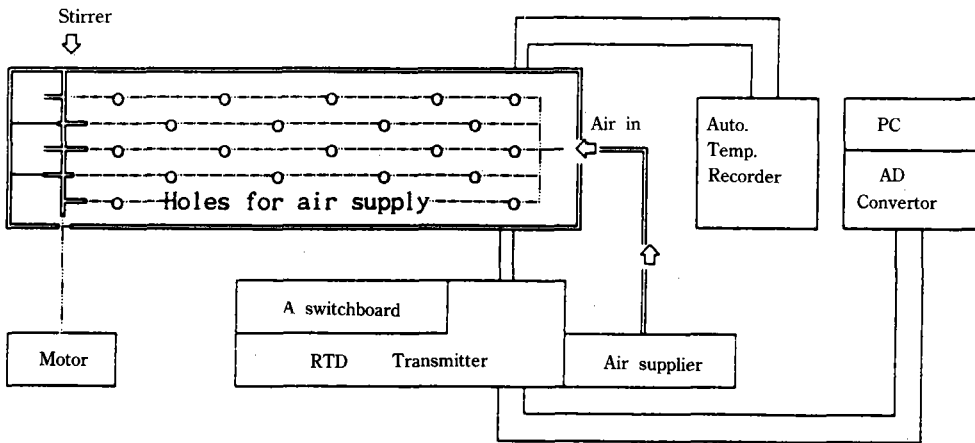


Fig. 4. Control logic for composting facility

2. 實驗設計

축분뇨를 早期에 有機質肥料化 하기 위해서는 슬러지의 含水율(water content), 曝氣率(aeration rate), 온도, C/N비 등 環境變수의 제어가 중요하다.^{6,7)} 이 중에서 무엇보다도 중요한 변수는 含水율로서 이는 슬러지의 호기성 분해속도와 밀접한 관계가 있다.^{8,9)} 축분뇨와 같이 含水율이 80~95%에 이르면 好機性 미생물이 충분히 공기에 노출될 수 없기 때문에 嫌忌性 상태로 되어 슬러지의 유기질비료화의 목적을 달성할 수 없다. 따라서 축분뇨의 초기 含水율을 적정수준으로 낮추어야 하며, 현실적으로 가장 많이 쓰이는 방법은 상대적으로 含水율이 낮은 유기성폐기물을 혼합재료로 이용하는 것이다.

혼합재료로는 톱밥, 왕겨, 볏짚 등¹⁰⁾이 있으나, 본 연구에서는 제지슬러지케이이크를 혼합재료로 사용하였다. 물론 제지슬러지케이이크의 혼합재료로 사용하는 데는 몇 가지 문제점이 있다. 含水율이 20% 내외인 톱밥, 왕겨 등에 비해 含水율이 60%인 原제지슬러지케이이크를 혼합재료로 쓸 경우 含水율 개선효과가 떨어지며, 공정중에 화학처리로 인하여 유해 및 중금속 함유 등의 시비의 소지가 있으나 하루에 100여톤 이상 발생하는 제지슬러지케이이크로 인한 진주 지방의 환경문제를 감안한 결과이다.

본 연구에서는 선택한 水平流 bin형 부숙조를 포함하는 sundry시스템의 축분뇨 처리효율을 검증하기 위하여 두 수준의 제지슬러지케이이크의 초기含水율과 두 수준의 축분뇨와 제지슬러지케이이크의 혼합비의 실험으로, 최적의 혼합조건 및 초기부숙을 위한 적정 環境變수를 究明하기 위해서 Table-2와 같이 실험을 설계하였다. 그러나 초기含水율에 관한한, 혼합부숙물의 含水율을 두 水準, 즉, 높은 수준(70%)과 낮은 수준(50%)으로 실험설계하였으나, 실제 현장에서 초기含水율을 측정된 결과, 두 水準과 약간의 차이가 있었다. 팔호안의 含水율은 실제 초기 含水율을 나타낸 것이다.

Table-2. Experimental design

Mixture Initial ratio W/C	Swine Manure : Paper sludge cakes (volume basis)		
	1 : 4	1 : 2	no treatment
70%	Test 1 (65%)	Test 3 (69%)	Test 5
	Test 2 (50%)	Test 4 (55%)	

3. 實驗方法

1. 실험1~실험5는 실험별 4일간씩(1992년 10월 10일~11월 4일) 理化學的 특성의 經時的 변화를 조사하였다. bin형 부숙조에서 혼합슬러지(축분뇨+제지슬러지)의 초기부숙을 위한 초기 含水율의 적정범위와 배합비를 결정하기 위하여 Table-2와 같이 실험설계를 하였다. 또 혼합슬러지의 부숙효과를 평가하기 위한 기준 실험으로 무처리 실험을 병행하였다(실험5).

2. 실험2와 실험4는 原슬러지케이이크의 含水율 63%를 약 45%로 낮추기 위해서 전처리과정을 거쳐야 한다. 含水율을 감소시키기 위한 전처리과정으로 그린하우스내에서 약 1주일 동안 자연건조시켜 含水율을 약 45%로 떨어뜨려 bin형 부숙조에 투입하여 축분뇨와 혼합하였다. 실험1과 실험3은 原슬러지의 含水율인 63% 상태에서 그대로 투입되어 축분뇨와 혼합하였다.

3. 清明日 낮에 과도한 복사열과 축분뇨에서 발생되는 악취의 집적적을 제거하기 위하여 약 5m³/s 용량의 팬을 비닐하우스의 측벽에 설치하여 換氣시켰다. 환기는 상대습도가 100%에 가까운 수증기 포화상태인 실내습도를 떨어뜨려 습공기학적으로 혼합슬러지의 含水율 저하를 가속시키는 효과도 있으므로 혼합슬러지의 온도저하에 영향을 미치지 않는 범위에서 최대한 실시하였다. 그리고 非清明日이나 清明日 밤에는 약 0.5m³/s 정도의 최소환기율을 적용하여 혼합슬러지와 실내온도 온도저하를 최소화하였다. 또한 혼합슬러지에 서식하는 호기성 미생

물의 활동 및 증식을 활성화하기 위해서 연탄 보일러를 이용하여 부숙조 바닥면의 온도가 약 40°C 정도 되게 보조열원을 공급하였으며, 야간 부숙물의 열손실을 막기 위해서 두께 50mm의 Styrofoam으로 만든 덮개를 이용하여 보온처리 하였다. 한편 혼합슬러지는 로터리식 회전이동 교반기를 이용하여 약 1rpm으로 20분에 1회 왕복하면서 교반하도록 하였다.

4. 부숙도의 판별변수로서 많은 연구원들에 의해 여러 가지 변수를 제안하고 있으나, 본 연구에서는 혼합부숙물의 온도, C/N비 및 미생물의 밀도를 부숙정도의 판별변수로 선택하였다. 이는 이들 변수들이 가장 흔히 채택되는 변수이기도 하고, 특히 일본 연구원들에 의해 제안된 변수들을 채택하고자 하여도 주위에서 그런 변수들을 측정할 수 있는 실험기자재를 이용할 수 없었기 때문이기도 하다. 따라서 부숙일에 따른 혼합부숙물의 온도를 자동 온도 측정장치를 이용하여 매시간 측정하였으며, C/N비와 함수율은 매일 시료를 약 20g씩 채취하여 측정하였다.

실제 유기물의 모든 탄소와 질소가 堆肥化에 관여하는 미생물의 질소원이나 탄소원으로 모두 이용되는 것은 아니므로 부숙물 중 총탄소와 총질소함량을 측정하여 C/N비를 구하는 것은 부숙도를 측정하기 위한 정확한 방법은 아니다. 그러나, 현실적으로 탄소/질소함량의 변화가 통용되고 있으므로 이 연구에서는 상대적인 증감변화도 理化學的인 의미가 있다고 판단되어 C/N비를 결정하였다. 탄소함량의 측정은 회화로를 이용하여 500°C에서 유기물을 7~8시간 태운 뒤 무게를 측정하였으며, 질소함량의 조사는 MicroKjeldahl방법도 이용하였다.

5. 온도와 C/N비 변화에 의한 부숙관련 미생물 밀도변화를 조사하기 위하여 토양한천 회석평판법을 이용하여 부숙유기물내에 서식하는 미생물의 밀도를 조사하였다. 대상미생물로는 유기물 퇴비화에 중요한 역할을 하는 고온성

세균, 방선균과 중온성 세균을 선정하였으며, 처리 시기별로 시료를 채취하여 밀도를 조사하였다. 前者는 45°C, 後者는 30°C 항온기에 각각 일정시간 배양한 후 생기는 미생물의 균총수를 측정하였다. 이 때 사용된 배지는 10% Tryptic Soy Agar(TSA)이었으며, 회석배수는 총세균이 10^6 , 방선균이 10^5 이었다.

IV. 結果 및 考察

1. 腐熟度에 영향을 미치는 변수의 分析

가. 實驗別 혼합슬러지의 溫度變化

혼합슬러지의 온도는 好機性 미생물에 의한 有機物의 분해정도를 간접적으로 알 수 있는 주요 변수중의 하나이다. 일반적으로 부숙과정 중 혼합슬러지의 온도가 높으면, 發熱상태가 유지되어 부숙도가 높은 것으로 알려져 있다. 본 실험에 사용된 bin형 부숙조는 半開放式이기 때문에 부숙조내 혼합슬러지의 온도는 태양복사열에 의한 실내온과 호기성 미생물에 의한 유기물의 분해 과정에서 발생하는 부숙열 등의 복합적인 영향을 받는다. 그러므로 실험별 온도자료를 취득한 날이 서로 다르기 때문에 절대 비교는 불가능하였다.

실험1의 경우 全부숙기간중 높은 발열상태가 유지되었음에도 불구하고(Fig. 5참조) C/N비의 감소는 불과 11%에 지나지 않았으며, 이의 평균기울기는 -1.6/일이었다(Fig. 6참조). 실험2의 경우 發熱상태는 실험1에 훨씬 뒤지나, C/N비는 약 27%나 감소하여, 이의 평균기울기는 -3.3/일로 실험중 가장 컸다. 이는 실험1의 높은 초기함수율(65%) 때문에 혼합슬러지가 嫌氣性 상태를 유지하여(Fig. 6참조), 曝氣로 인한 열의 손실이 최소화 되었기 때문으로 판단된다. 그러나 실험2의 경우 상대적으로 낮은 함수율(50%) 때문에 슬러지의 通氣性이 개선되어 폭기로 인한 열손실이 커 全부숙과정중

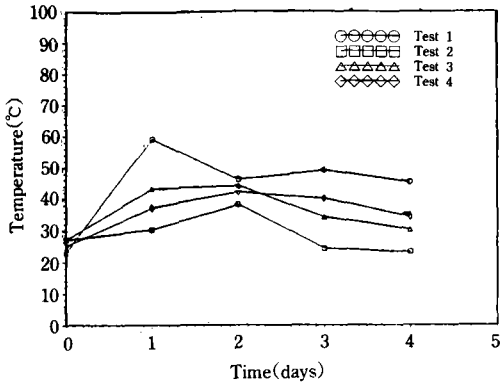


Fig. 5. Temperature variations for tests with the lapse of composting time

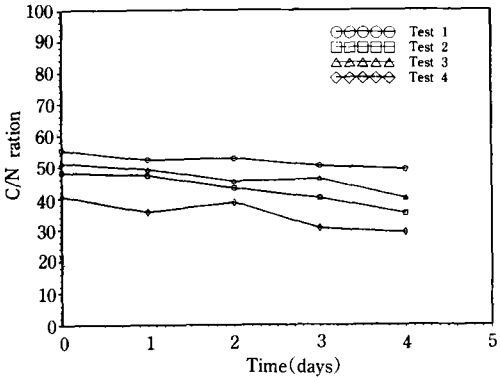


Fig. 6. C/N ratio variations for tests with the lapse of composting time

활발한 발열상태가 유지되지 않았음에도 불구하고, 好機性 미생물이 공기에 많이 노출되어 탄소원의 소비가 증가하여 C/N의 감소효과가 컸던 것으로 판단된다. 그러므로 부숙도를 온도만으로 판별하는 것은 옳지 않다고 생각되며, 본 연구에서 판별변수로 선택한 C/N비를 포함시키더라도 결과가 상충될 때는 확실한 결론을 유도할 수 없기 때문에, 이를 보완할 수 있는 제3의 변수가 개발되어야 할 것으로 믿는다.

실험3과 실험4의 기본적인 혼합슬러지의 온도 및 온도차(혼합슬러지의 온도와 실내온도와의 차) 형태는 비슷하며, 頂點온도도 D2(실험을 시작한 후 이들이 지난)에서 일어나나, 초기

함수율이 낮은(55%) 실험4가 함수율이 높은(69%) 실험3보다 餘熱이 D3쪽으로 치우치는 경향이 있다(Fig. 5참조). 이는 실험4의 혼합슬러지의 폭기효율이 좋아 부숙열이 슬러지내에 머물러 있지 못하고, 상대적으로 많은 열이 실내로 빠져 나가기 때문인 것 같다. 그러나 공기에 충분히 노출된 호기성 미생물의 활동이 제한된 온도를 극복하고 서서히 유기물 분해에 참여하여 실험4의 D3의 온도가 40°C이므로, 온도차도 10°C 정도로 頂點인 D2 수준을 거의 유지하였다.

Fig. 5를 보면 실험1을 제외하고는 정점온도가 40°C정도로 밀폐형 반응조⁶⁾의 정점온도인 60~70°C에 비하며 20~30°C 낮았다. 이는 본 연구에서 선택한 sundry시스템의 bin형 부숙조의 혼합부숙물의 온도는 밀폐형 반응조보다 폭기율(aeration rate)에 민감하여 열손실이 많은 때문인 것 같다. 혼합부숙물의 온도와 폭기율은 부숙을 위해서 필요하지만 기능상 상쇄효과가 있으므로 bin형 부숙조의 적정 폭기율결정과 보조열원의 공급량결정도 혼합부숙물의 부숙촉진에 중요한 것으로 판단된다.

나. 실험별 혼합슬러지의 C/N비 변화

C/N비는 혼합슬러지의 온도와 함께 부숙정도를 나타내는 대표적인 변수로 널리 쓰이며, 유기물이 분해되는 과정중에는 일반적으로 C/N비는 감소한다. Fig. 6은 각 실험별 C/N의 輕時的 변화를 나타낸 것이다. 실험1~실험4의 실험 수행일이 서로 다르기 때문에 外氣象조건이 달라 실내온도의 차이는 있으나, 실험1을 제외하고는 C/N비의 절대감소가 약 11~13정도로 비슷하였다. 실험2의 상대적 C/N비 평균감소율은 -3.3/일로, 실험3,4의 -2.8/일, -2.9일보다 약간 크게 나타났지만, 이 정도의 편차는 실험에서 발생하는 오차로 보는 것이 타당하다. 그러나 실험1의 경우, C/N비의 절대감소가 6정도로 평균감소율은 -1.6/일로 다른 세 실험과는 상당한 편차를 보였다. 이는 온도환경이

다른 세 실험보다 좋았음에도 불구하고, 높은 초기함수율(65%)과 높은 C/N(55.4)비가 상승작용을 일으킨 것으로 결과인 것 같다.

다. 실험별 혼합슬러지의 含水率 變化

Fig. 7과 같이 실험1~실험4의 절대 함수율의 감소는 약 9~12% 정도로, 前處理(함수율처리) 없이 혼합비(제지슬러지케이크:돈분뇨)를 2:1로 한 실험3의 경우가 9%로 가장 낮았다. 이는 실험3의 돈분뇨혼합은 原제지슬러지케이크의 C/N비를 81에서 51로 37% 정도 감소시키는데는 기여했으나, 초기 함수율을 69%로 상승시켜 외기온이 다른 실험일보다 높았음에도 평균에도 미치지 못하는 9% 감소에 그쳤다. 그러나 초기 함수율이 50%인 실험2의 경우(前處理를 거치고 혼합비 4:1로 처리한), 외기온이 다른 실험일보다 낮았음에도 불구하고 함수율의 절대감소는 11%로 평균 이상이며, C/N비의 절대감소는 13, 평균기울기는 -3.3/일로 오히려 실험3의 9%, 11, -2.8/일보다 좋았다. 이는 기본적으로 초기함수율에 기인한 것으로 판단되며, 가능하면 반응조내 호기성상태를 유지하기 위해서 투입슬러지의 함수율을 적정수준으로 조절해야 한다는 설계기준을 재확인하였다.

前處理를 거치고 혼합비를 2:1로 한 실험4는 혼합슬러지의 초기 함수율(55%)과 C/N비(41 정도)를 적정수준으로 조절하였고, 外氣溫度 30

°C 내외로 실내 열환경은 다른 실험일보다 오히려 양호하였기 때문에, 실험설계단계에서 부속도가 다른 실험보다 우수할 것으로 기대하였다. 그러나 실험4의 C/N비 절대감소는 약 11 정도에 그쳤으며, 오히려 부속조건이 상대적으로 나쁠 것으로 판단되었던 실험2보다 C/N감소율이 낮았다. 실험2에서 실험4보다 나은 초기 부속조건을 찾는다면, 다만 약 5%의 정도 낮은 초기 함수율 외에는 없다. 그러므로 혼합슬러지의 부속속도에 초기 함수율이 초기 C/N비보다 더 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

2. 微生物의 密度 調査

Fig. 8은 실험5의 無處理 제지슬러지케이크(함수율 63%, C/N비 80정도)의 부속과정중 세균밀도의 輕時的 變化를 나타낸 것이다. 수평류 bin형 腐熟槽가 비닐하우스에 의하여 밀폐되어 있긴 하지만 부속조 자체는 半開放되어 있는 상태이므로 퇴비더미내 또는 밀폐부속조⁶⁾에 나타나는 전형적인 고온성 미생물 밀도변화는 나타나지 않았다. 이는 부속조내 혼합슬러지의 온도를 高溫으로 유지할 수 없었기 때문인 것으로 판단되었다(Fig. 8 참조). 그러나 D2 이후 中溫性(mesophilic) 세균의 밀도가 늘어난 것은 이러한 미생물에 의해서 유기물의 분해가 진행되고 있음을 나타내고 있으며, 高溫性(thermophilic)미생물도 전형적인 밀도변화는 없었

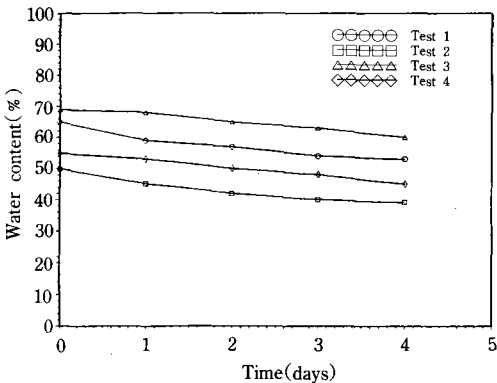


Fig. 7. Water content variations for tests with the lapse of composting time

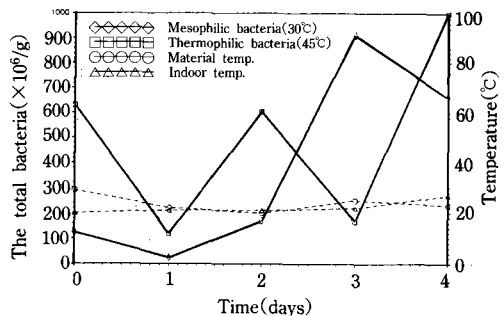


Fig. 8. Variations of bacterial density for Test5 with the lapse of composting time

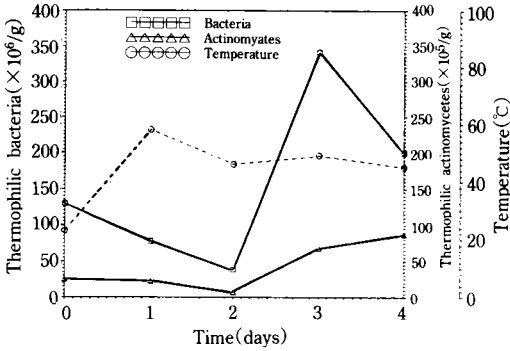


Fig. 9. Variations of thermophilic bacteria and actinomycetes density for Test 1 with the lapse of composting time

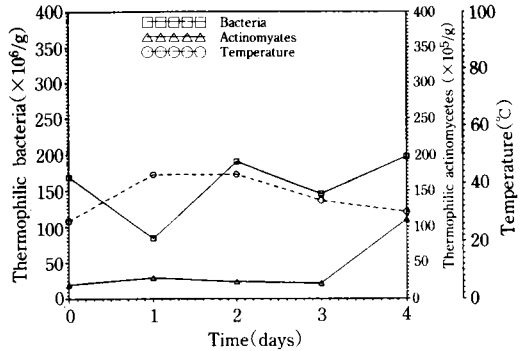


Fig. 11. Variations of thermophilic bacteria and actinomycetes density of Test 3 with the lapse of composting time

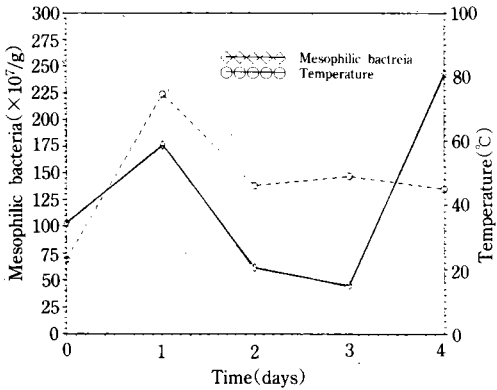


Fig. 10. Variations of mesophilic bacteria density of Test 1 with the lapse of composting time

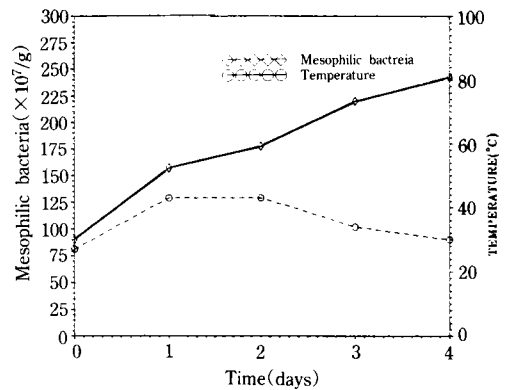


Fig. 12. Variations of mesophilic bacteria density for Test 3 with the lapse of composting time

으나 부분적으로 온도가 높게 유지되는 곳에서는 유기물의 부숙에 관여한 것을 판단된다.

실험1의 경우, Fig. 9에서와 같이 D2 이후 고온성 미생물과 放線菌의 밀도가 증가하는 경향이 보였으나, 부숙물의 온도변화와 미생물 밀도간에 뚜렷한 相關은 보이지 않았다. 이것은 bin형 부숙조의 실내로의 부숙열손실에 의해서 고온성 미생물의 번식이 억제되어 부숙효율도 감소된 것으로 판단된다. 그러나 Fig. 10의 D0~D3에 중온성미생물의 밀도와 부숙물의 온도변화가 서로 일치함을 관찰하였다. D3 이후 부숙물의 온도가 약 40°C 내외로 유지됨에 따라 방선균의 밀도는 서서히 증가하기 시작하였으

며, 부분적으로 부숙물의 온도가 높게 유지되는 곳에서는 고온성미생물의 增殖도 일어남을 알 수 있다(Fig. 9참조). D3 이후에는 중온성미생물의 增殖이 빠르게 일어나는 경향이므로 이후 계속해서 부숙시키면 放線菌과 중온성미생물의 밀도가 증가할 것으로 판단된다.

실험3의 Fig. 11의 경우, 실험1과 마찬가지로, 고온성 미생물밀도 변화는 전부숙기간중 堆肥化형상을 하였다. 이는 부분적으로 고온미생물의 증식이 일어나고 있음을 의미하며, 放線菌의 밀도도 부숙물의 온도가 전부숙기간중 30~45°C를 유지함에 따라 D3 이후 서서히 증가하는 경향을 보였다. 그러나 부숙물의 온도

변화와 고온성미생물 및 放線菌의 밀도간에 뚜렷한 相關은 보이지 않았다. Fig. 12의 중온성 미생물의 밀도는 부숙물의 온도가 30~43°C를 유지함에 따라 D0 이후 서서히 증가하는 경향을 보였다. 이러한 경향은 D4 이후에도 일정기간 지속될 것으로 판단된다.

V. 結 論

본 연구는 專業 양축농가를 위한 축분노처리 시스템 개발의 기초연구로서 선택시스템인 수평류 bin형 부숙조, sundry 시스템의 부숙성적을 평가하기 위하여 理化學的 변수의 輕時的 변화를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. bin형 부숙조, sundry시스템에서 혼합부숙물의 주도적인 역할을 하는 미생물은 中溫性 微生物이며, 고온성 미생물과 放線菌도 부분적으로 부숙에 기여한 것으로 판단된다. D4 이후에도 中溫性미생물과 放線菌이 증가하는 경향을 미루어 bin형 부숙조 sundry시스템에서의 4일간 부숙기간은 충분하지 못한 것으로 판단된다.

2. bin형 부숙조, sundry 시스템은 실내공간으로의 부숙열손실이 크기 때문에 부숙물 스스로가 부숙열손실을 극복할 수 있는 다량의 혼합부숙(축분노+혼합재)을 저장·처리할 수 있는 대규모 養畜農家에서나 가능한 시스템으로 판단된다.

3. 본 실험의 경우, 함수율이 낮을 때(실험2, 4)와 높을 때(실험1, 3)간, 畜糞尿 혼합비가 낮을 때(축분노: 제거슬러지케이크=1:4)와 높을 때(1:2)간의 C/N비의 감소율 및 부숙물의 온도변화에 뚜렷한 有意性을 관찰할 수 없었다. 이는 혼합슬러지의 부숙도에 영향을 미치는 부숙물의 온도, 함수율, C/N비, 폭기율 등의 변수들이 서로 上昇作用을 하거나 相殺作用을 하여 복합적으로 작용함을 알 수 있다. 그러므로 혼합슬러지의 부숙도에 영향을 미치는

이들 변수간의 복합관계를 究明하는 연구가 요구된다.

4. 실험1의 경우 全부숙기간중 높은 發熱상태가 유지되었음에도 불구하고, C/N비의 평균 감소율은 -1.6/일에 지나지 않았으며, 실험2의 경우 발열상태는 실험1보다 훨씬 떨어지나, C/N비의 평균기울기는 -3.3/일로 오히려 컸다. 이는 실험1의 혼합슬러지의 높은 함수율(65%) 때문에 슬러지가 嫌氣性상태를 유지하여, 폭기로 인한 열손실이 최소화 되었기 때문으로 판단된다. 실험2의 경우, 상대적으로 낮은 함수율(50%) 때문에 슬러지의 通氣性이 改善되어 폭기로 인한 열손실이 커 全부숙과정중 활발한 발열상태가 유지되지 않았음에도 불구하고, 好機性 미생물이 공기에 많이 노출되어 탄소원의 소비가 증가하여 C/N비의 감소효과가 컸던 것으로 판단된다.

5. 혼합슬러지의 초기 含水率(55%)과 C/N비(41 정도)를 적정수준으로 조절한 실험4의 C/N비 절대감소는 약 11정도에 그쳤으며, 오히려 부숙조건이 상대적으로 나쁠 것으로 판단되었던 실험2보다도 적었다. 실험2에서 실험4보다 양호한 초기 부숙조건을 찾는다면, 약 5% 정도 낮은 초기함수율 外에는 없다. 그러므로 혼합슬러지의 부숙속도에 초기함수율이 C/N비보다 더 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

이 연구는 한국학술진흥재단 자유공모과제 연구비에 의해서 수행된 것임.

參 考 文 獻

1. 경상대학교 농공학과 농업환경제어실험실 내부자료.
2. 환경처. 1992. 오수·분뇨 및 축산폐수의 처리실적과 계획.
3. 서종혁. 1992. 한국농업에서의 환경문제와 정책과제. 환경보전과 농업발전 심포지움 중

- 제1주제. 한국농촌경제연구원.
4. 농촌경제연구원. 1990. 가축분뇨 및 축산폐수 처리대책에 관한 연구. 보고서 C90-10.
 5. Haug R. T. "Compost Engineering : Principles and Practice". Ann Arbor Science.
 6. 최홍림, 김현대, 하호성, 정영륜, 남상일, 서형덕, 장원준. 1992. 이화학적 환경변수가 제지슬러지케이크의 조기부숙에 미치는 영향. 한국농공학회지. 34(3) : 75~84.
 7. 한국자원재생공사. 1989. "폐기물자원화 편람". 편집위원회.
 8. Chongrak P. 1991, "Oraganic Waste Recycling" (draft copy).
 9. Shoda and Phae. 1988. Composting of sewage sludge : Its trend and controlling factors. 동아대학교 환경문제연구소 연구보고 11(2) : 327~333.
 10. Nakasaki K., M. Shoda, and H. Kubota. 1985. Effect of temperauture on composting of sewage slude. Applied and Environmental Microbiology. 50(6) : 1526~1530.