

理化學的 환경변수가 제지슬러지케이크의 早期腐熟에 미치는 영향

The Effect of Physico - Chemical Environmental Parameters on Early Composting of Paper - Mill Sludge Cakes

崔 弘 林* · 金 鉉 台* · 河 浩 成* · 鄭 永 倫*
Choi, Hong Lim · Kim, Hyun Dae · Ha, Ho Sung · Chung, Yong Ryun
南 相 一** · 徐 亨 德** · 張 源 竣**
Nam, Sang Il · Suh, Hyeong Duk · Chang, Won Joon

Summary

The paper manufactories in Sangpyeong Industrial Estates, Chinju, produce more than 80 tons of paper-mill sludge cakes every day, which costs about 840 million won for dump per year. Since the paper-mill sludge is biodegradable, the sludge can be utilized as an organic fertilizer if it is properly decomposed. This may lead to not only dramatic cut of the treatment cost but prevention from secondary environmental contamination due to dump. The primary objective of the study was to explore the quantitative range of major environmental parameters influencing early composting of paper-mill cakes, naturally pretreated in warm and cold weather. The automatically-controlled reactor was designed, manufactured, and operated for nine days to decompose about 220l of raw sludge cakes. Four tests(Test 1~Test 4) were implemented for the study of Phase I. Treatments of two levels of initial temperature (40°C and 28°C) and two levels of water content+C/N ratio (35%+40 and 63%+80) were made to test the significance of their parameters for decomposition of raw sludge cakes pretreated in warm weather. Another four tests(Test 5~Test 8) were implemented for the study of Phase II. Treatments of initial temperature and water content(W/C)+C/N ratio of raw sludge pretreated in cold weather were made to 16°C and 13%+58 for Test 5, 6°C and 53%+55 for Test 6, 7°C and 36%+81 for Test 7, 31°C and 30%+81 for Test 8. Natural

* 慶尙大學校 農科大學, 自然科學大學

** 東洋物産企業株式會社 中央研究所

키워드 : 제지슬러지케이크, 함수율, C/N비, 온도, 공기공급량, pH, 腐熟, 前處理

weater condition(pretreatment condition) revealed the importance in composting of the paper-mill sludge cakes. Combination of water content adjustment to about 30% with C/N ratio amendment of about 20 and initial temperature of 30~40°C was concluded to be the best for early composting of paper-mill sludge cakes with aeration rate and pH fixed. Temperature and C/N ratio were adapted as judging variables for composting degree. In addition, tests for microbial activity were performed to validate the experimental results. Since the temperature and C/N ratio did not coincide in some tests as judging variables for the maturity of the composting sludges, taking one of these parameters could mislead the concept of the maturity (composting conceptually new criterion to provide more reliable information for early composting of paper-mill sludge cakes.

I. 緒 論

제지공장이 밀집해 있는 淸州 上坪工團에서 배출하는 하루 폐수량은 현재 약 3만톤으로, 이중 70% 이상을 제지공장에서 배출하며, 주된 고형물은 제지슬러지이다.¹⁾ 상평공단에서 배출되는 각종 오·폐수는 파이프라인을 통해서 폐수종말처리장인 환경관리공단 진주사업소에서 集水되며, 이중 물은 정화하여 南江支流로 放流하고 제지슬러지는 脫水하여 슬러지케이크로 만들어 埋立한다. 현재 진주 상평공단 폐수종말처리장에서 발생하는 슬러지케이크는 一日 약 80톤으로 이의 처리 비용만해도 年間 약 8억 4천만원이나 든다.

제지슬러지케이크는 불순물이 없는 균일한 生分解性(biodegradable)인 셀룰로오스로 되어 있고, 중금속의 함유율도 기준값보다 낮으므로,²⁾ 이를 적절히 부숙시켜 퇴비화하면, 폐기매립으로 인한 2차 환경오염을 막고, 폐기처리에 드는 비용을 절감할 수 있다. 일반적으로 제지슬러지케이크를 아무런 처리없이 野積하여 부숙시키는데 걸리는 기간을 12~16주 정도로 알려져 있으며,³⁾ 부숙기간 이외에도 야적공간 확보 및 균일부숙 등이 자연부숙의 문제점으로 지적되고 있다. 제지슬러지 케이크를 無處理 施肥할 경우, 슬러지내의 미생물이 슬러지나 토양속에 있는 질소 등을 이용하여 활발히 활

동하므로 오히려 일시적으로 養分不足狀態나 窒素飢餓狀態를 유발할 수 있으며, 부숙과정에서 발생하는 열이나 유해기체로 인해 작물이 치명적인 害를 받을 수도 있다.⁴⁾ 그러므로 이러한 현실적인 제한 때문에 폐기되는 제지슬러지케이크를 有機質肥料로 재활용하기 위해서는 밀폐시스템에 의한 제지슬러지케이크의 早期腐熟化가 하나의 代案으로 제시될 수 있다.

본 연구는 理化學的 변수가 제지슬러지 케이크의 조기부숙화에 미치는 영향을 분석하고, 模型反應槽의 슬러지케이크에 서식하는 미생물이 최적조건에서 활동할 수 있는 이화학적 변수의 定量的 범위를 결정하기 위해서 수행하였다.

II. 研究史

일반적으로 슬러지의 조기 부숙화를 위해서 반응조내에서 제어해야 할 변수는 온도, 부숙물의 함유율, pH, 공기공급율(산소량), C/N비 등으로 알려져 있다. 이들 변수의 유기성 폐기물의 부숙에 미치는 영향에 관한 연구는 다음과 같다.

1. 溫 度

부숙과정중 有機性 廢棄物의 온도는 부숙정도의 指標로 활용될만큼 중요하다. 부숙의 基本

目的은 유기성 폐기물을 자연상태에서 生化學的으로 安定시키고, 병원균 등의 유해물질을 제거하며, 악취억제 등을 위해서는 부숙과정중 發熱狀態(exothermic)는 필수적이다. 일반적으로 부숙화의 적정온도는 50~60°C로, 溫度는 부숙속도와 정비례하지 않으나, 高溫(thermophilic) 상태를 유지하는 것이 좋다고 알려져 있다.⁵⁾ Nakasaki et al.⁶⁾은 下水슬러지에서 분리시킨 高溫 박테리아는 60°C에서는 增殖이 매우 빠르며, 70°C에서는 거의 자라지 못한다고 보고하였다.

2. 含水率

조기부숙의 중요한 影響因子중의 하나는 부숙물질의 함수율이다. 미생물은 물에 녹아 있는 영양분과 산소를 이용하기 때문에 수분이 없는 환경에서는 살 수 없다. 많은 연구에 의하면, 부숙물질의 적정함수율은 50~60%로, 30% 이하에서는 실제 부숙이 불가능하다고 보고하였다.⁷⁾ 그러나 적정 함수율은 부숙물질의 性狀, 粒度, 부숙방식, 부숙물질 중 휘발성물질의 변환 속도, 혼합부숙물질 경우 혼합비에 따라 변한다고 보고하였다.^{7,8,9)} 洪等³⁾은 신선한 퇴비의 경우, 부숙물질의 함수율이 약 50%일 때 부숙율이 가장 높게 나타났으며, 함수율이 너무 높으면 揮發性 고형물이 감소한다고 하였다.

3. 空氣量

유기물질의 好氣性분해의 경우 공기(산소)의 공급은 필수적이다. 공기의 공급은 일정기간 부숙물질의 온도를 저하시켜 부숙속도를 떨어뜨리는 원인이 되기도 하지만, 부숙물질의 온도가 너무 높으면 공기를 공급하여 부숙물질의 온도를 적정수준으로 제어하는 효과도 있다. Shoda and Phae⁹⁾는 하수의 퇴비화를 위한 반응조의 온도가 적정온도(50°C~60°C)로 제어될 때 공기 공급율은 分當 50~200 l/m³이며, 부숙속도를 加速시키기 위해서는 일정한 공기공

급율보다는 부숙시기별 공기공급율을 달리하는 것이 바람직하다고 하였다. Bach 등¹⁰⁾은 단일 반응조에 지속적으로 공기를 공급할 경우 16l의 혼합부숙물을 위한 적정 공기공급율로 800ml/min을 제시하였으며, Bell¹¹⁾은 好氣性 반응조의 적정 공기공급율은 부숙물질의 특성과 함수율에 따라 다르나 一般的으로 分當 200~1200l/m³이 적당하며, 공기가 과도하게 공급될 경우에 열손실을 가져온다고 보고하였다.

4. C/N 比

부숙은 미생물에 의해서 유기물이 분해되는 과정으로서 미생물 증식을 위해서 적당한 양의 탄소원(C)과 질소원(N)이 필요하다. C/N비가 너무 작으면 부숙과정에서 외부로 질소가 유실되고, C/N가 너무 크면 질소가아현상으로 부숙이 잘 진행되지 않는다. 일반적으로 C/N비가 35이상이면 질소부족으로 미생물의 自體增殖이 지연되며, 단순히 생명유지를 위한 에너지원으로서 탄소를 소비하게 되므로 부숙속도가 완만하게 되고, 이보다 적으면 미생물자체의 증식과 유기물분해는 왕성해지는 반면 질소과잉으로 부숙기간 중 질소손실이 크다.¹²⁾ 부숙 정도의 판별변수로 C/N비를 사용할 수 있으며, 대체로 C/N비가 20~40이 적절한 것으로 알려져 있다.⁷⁾

Taiganides¹³⁾는 부숙물질의 함수율이 75% 이상이면 퇴비층에 공기공급이 어렵고, 높은 온도에 도달할 수도 없다고 하였다. 또 C/N비가 30~50 범위 이하이면, 질소손실이 일어나고 이 범위 이상이면 많은 양의 산소가 필요하다고 하였다. 한편 Bell¹⁴⁾은 함수율 25~75%, C/N비가 15~100까지는 퇴비화가 가능하다고 보고하였다.

Table-1. Physico-Chemical characteristics of paper-mill sludge cakes

C (%)	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	MgO (%)	Fe (ppm)	Mn(ppm)
51.9	0.64	0.20	1.54	0.23	0.38	0.60	0.86
Total Carbohydrate (%)		Cellulose (%)		Lignin (%)		Total lipid (%)	
30.0		25.2		9.1		0.81	
C/N ratio		Water content (%)		Density (m ³ /kg)		pH	
81.2		63		0.83		7.0~7.3	

III. 材料 및 方法

1. 實驗設計

본 연구에서 사용한 試料는 晋州 上坪工團 폐수종말처리장인 환경관리공단 진주사업소에서 배출되는 제지슬러지케이크의 理化學的 특성은 Table-1과 같다.

가. 여름기상하에서의 실험설계

조기부숙에 영향을 미치는 주요 환경변수인 온도, 함수율, 공기공급율, pH, C/N비 중 슬러지의 pH는 Table-1에서도 보듯이 중성~약알칼리성으로 이미 적정범위에 있으며, 單段階 팬을 작동하였을 때 공기공급율은 일정하므로, pH와 공기공급율을 제어변수에서 제외하였다. 反應槽의 초기온도, 부숙물의 함수율과 C/N비는 부숙속도에 직접적인 영향을 미친다고 판단하여, Table-2와 같이 두 수준의 초기온도와 두 수준의 함수율을 제어변수로 하여 실험설계

를 하였다. 슬러지케이크에 서식하는 高溫미생물의 번식이 40°C에서 가장 활발할 것으로 알려져 있기 때문에¹⁴⁾ 실험3과 실험4는 heater를 이용하여 반응조내 슬러지케이크의 초기온도를 40°C로 하였으며, 초기온도가 부숙에 미치는 영향을 검정하기 위해서 실험1과 실험2는 常溫 상태(28°C)로 하였다. 실험1과 실험3은 원슬러지를 그대로(63%) 투입하였으나, 실험2와 실험4에서는 원슬러지의 함수율을 낮추기 위해서 高溫多濕한 여름철 開放 構造物内에서 약 일주일 건조시켜 투입하였다. 다만, 여기서 유의해야 할 점은 부숙물의 건조기간중 자연부숙이 활발하게 진행되어 C/N비가 약 40 정도로 낮아져 여름기상조건하에서의 실험4의 함수율처리는 C/N비 처리의 동반효과가 발생하였다.

나. 겨울기상하에서의 실험설계

Table-3과 같이 세 수준의 초기온도와 세 수준의 함수율을 제어변수로 하여 실험을 설계하였다. 실험5는 부숙의 한계 함수율을 정량화하기 위해서 늦은 가을(외기온 약 16°C)에 약

Table-2. Experimental design to test composting rate of the paper-mill sludge cake

T _i ¹⁾	28°C ²⁾ (without heating)	40°C (with heating)
W/C+C/N ³⁾		
63% + 81	Test 1	Test 3
35% + 40	Test 2	Test 4

註: ¹⁾ T_i은 초기온도를 나타냄

²⁾ 非加熱 자연상태의 흡입공기온도 28°C를 기준으로 함

³⁾ 함수율(W/C) + C/N비를 나타냄

Table-3. Experimental design to test composting rate of the paper-mill sludge cake

T _i	W/C+C/N	Test
16°C	13% + 58	Test 5
6°C	53% + 81	Test 6
7°C	36% + 81	Test 7
31°C	30% + 81	Test 8

1개월 정도 건조시켜 함수율을 약 13%까지 낮추어 투입하였다. 실험5와 실험6은 겨울기상 조건(低溫低濕)하에서 전처리한 부숙물의 함수율수준이 부숙속도에 미치는 영향을 구명하기 위해 乾燥日數를 달리하여 투입하였다. 실험8은 초기온도의 변형이 부숙속도에 미치는 영향을 구명하기 위하여 최적 함수율(1차 연구결과)로 전처리한 부숙물을 반응조에 투입, 가열하여 약 30°C로 높혔다.

2. 모형반응조 및 제어시스템 설계

Fig. 1은 실험장치의 개략도로서, P. C.에 의한 자동제어장치, 主工程인 腐熟이 이루어지는 모형반응조, 교반기, 온도센서 등이 부착된 送風管 역할의 Shaft 및 附帶裝置로 구성되어 있다. 반응조는 두께 5mm의 철판으로, 內徑이 580mm이고 길이가 860mm인 원통형으로 용량이 약 220ℓ정도 되게 제작하였으며, 균일 혼합을 위해서 원통이 회전하면서 교반되도록 하였다. 반응조 원통 안쪽벽에 2cm×3cm(H×L)인 teeth를 150여개 축과 水平되게 달고, 반응조 자체를 약 3° 경사지게 설치하여 교반 때 부숙물이 아래 쪽으로 쏠리지 않도록 하였다. 그리고 반응조에서 주위로의 傳導 熱損失을 줄이기 위해 원통반응조를 5cm 정도의 Styro-foam으로 피복하였다. 반응조로의 공기공급은 송풍기로 매시간 1분동안 Shaft의 천공을 통해 공급하였으며, 소형 팬을 부착한 공기출구는 흡입공기가 出口로 바로 短絡(bypassing)되지

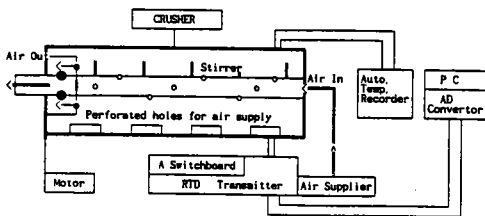


Fig. 1. Schematic diagram for the reactor with control system

않도록 하여 부숙과정에서 생기는 악취와 잔여 공기를 제거하도록 하였다.

3. 實驗方法

모형반응조에 前處理한 또는 原제지슬러지케이크를 거의 차도록 넣고, Table-2의 실험계획에 권장 부숙기간은 약 7일 정도로 보고되어 있지만⁷⁾ 편차를 고려하여 부숙기간을 9일로 하였다. 슬러지케이크의 균일한 혼합을 위해서 반응조를 주기적으로 매시간 1회 회전시켜서 Shaft에 달린 교반기로 혼합하였다. 부숙물과 공기의 접촉을 최대를 하기 위하여 반응조 회전과 동시에 송풍기(6.3ℓ/min)를 작동시켜 공기를 週期的으로 공급하도록 하였다. 부숙화정도의 판별변수인 온도는 매시간 자동적으로 그래프와 수치가 컴퓨터에 입력되도록 하였으며, C/N비는 매일 시료를 약 20g씩 채취하여 측정하였다. 본 실험에 이용된 原슬러지케이크의 C/N비는 약 80으로 부숙에는 다소 높은 값이지만, 부숙화에 적절한 환경변수의 범위를 알아보기 위해서 부숙촉진제 등은 사용하지 않았다.

IV. 結果 및 考察

1. 여름기상조건에서 부숙도 판별변수의 실험별 변화

Fig. 2는 실험설계에 따른 부숙물의 두水準간 온도처리와 두水準간의 함수율처리(C/N比處理 同伴)가 부숙속도가 어떠한 영향을 미치는가를 구명하기 위하여 실험별 부숙일 경과에 따른 온도변화를 나타낸 것이다.

우선 실험별 頂點溫度와 發生日은 실험1의 경우 D4에서 약 49°C, 실험2는 D1에서 약 53°C, 실험3은 D2에서 55°C, 실험4는 D1에서 67°C로 관찰되었으며, D0~D1간의 실험별 온도변화율은 각각 15.9°C/일, 25.2°C일, 10.7°C/일, 27.0°C/일 이었다. 여기서, DX는 부숙물을 반응조에

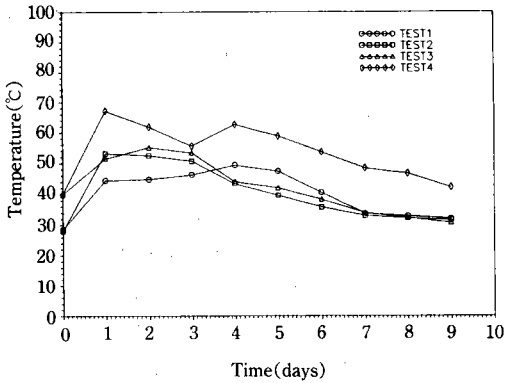


Fig. 2. Temperature variations for Tests with the lapse of composting time

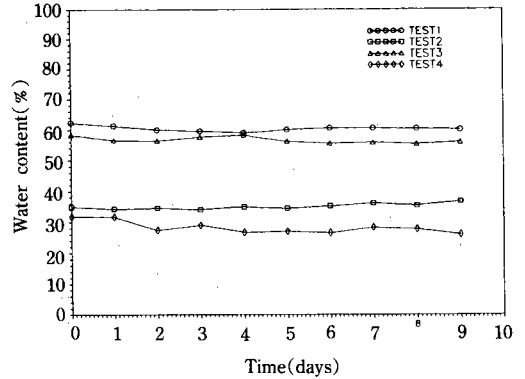


Fig. 3. Water content variations for Tests with the lapse of composting time

투입한 후 X일째를 뜻한다. 실험2와 실험4의 변화율은 다른 두 실험보다 현저히 높았다. 이는 前處理 과정을 거치면서 함수율과 C/N비가 補正되어 부숙이 加速된 것으로 판단된다. 溫度處理 實驗群(실험3과 실험4)과 溫度無處理 實驗群(실험1과 실험2)간의 단순비교는 불가능하나, Fig. 2의 온도변화에 국한하여 관찰하면, 온도처리군에 함수율과 C/N비를 補正한 실험4가 실험3보다 부숙상태가 현저하게 좋았다. 그러나 무처리군인 실험1과 실험2의 온도변화를 비교하면, 실험2는 매우 빠른 속도로 정점온도까지 도달했다가 D1 이후 D9까지 서서히 떨어지나 실험1은 D4의 정점온도까지 서서히 증가하며 그 이후 D7까지 감소가 오히려 완만하여 D4~D7의 온도는 실험2의 온도보다 높게 나타났다. 실험1은 실험2에 비하여 상대적으로 높은 온도를 유지하는 시간이 길어 온도변화만을 보여 두 실험간 부숙도차이는 눈에 띄지 않으나, 실험1의 정점온도는 49°C이고, C/N비 최종값이 64(Fig. 4 참조)로, 완전한 부숙이 일어나고 있지 않음을 알 수 있다.

前處理를 통한 부숙물의 함수율 처리는 C/N비를 보정하는 효과를 同伴하므로, Fig. 2의 온도변화나, Fig. 4의 C/N비 변화에서 보듯이 함수율 처리군(실험2와 실험4)이 무처리군(실험1과 실험3)보다 부숙도가 양호함을 알 수 있었으나, Fig. 3에서 보인 바와 같이 부숙물의 함수율은 거의 변하지 않았다.

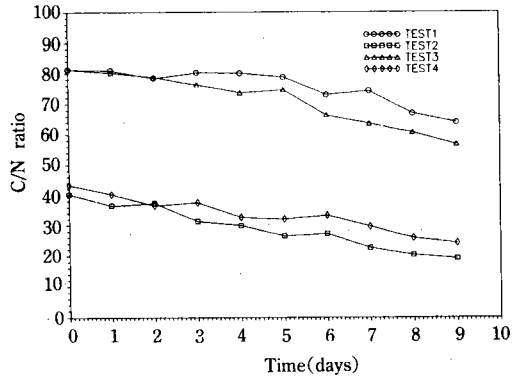


Fig. 4. C/N ratio variations for Tests with the lapse of composting time

이러한 현상은 함수율 처리군과 무처리군 모두, 일단 반응조에 투입하면, 절대 C/N비 감소량은 거의 같다는 사실이다. 즉, 반응조의 부숙능력은 함

수율 처리군과 비처리군 모두 온도처리에는 거의 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 그러므로 제지슬러지케이크의 유기질 비료화를 위해서는 C/N비 補正은 꼭 거쳐야 할 前處理 工程이라 할 수 있다.

합수율처리를 위한 전처리의 부수적인 효과인 초기 C/N비의 보정을 고려하지 않고 온도의 변화만을 고려하여 합수율 處理群(실험2와 실험4)과 無處理群(실험1과 실험3)의 부속도를 비교해 보면, 정점온도와 그 발생일은 실험1의 경우 D4에서 약 49°C, 실험2는 D1에서 약 53°C, 실험3은 D2에서 55°C, 실험4는 D1에서 67°C로써, 온도처리군(실험3과 실험4)중에서는 합수율처리(실험4)가 무처리(실험3)보다 부속상태가 전반적으로 양호하나, 온도 無處理群內的 합수율처리(실험2)와 무처리(실험1)의 부속상태는 정점일과 정점온도를 제외하고는 거의 같았다. 이는 합수율처리한 실험2는 상대적으로 실험1보다 空隙이 많아 부속이 초기에는 加速되나 후기에는 실험1도 지속적인 공기공급으로 부속이 서서히 가속됨을 알 수 있다.

실험1과 실험3의 실험기간중 초기에는 혐기성 부속으로 인하여 악취가 발생하였다. 이는 부속화의 적정합수율이라는 60% 내외는 이 실험의 設定 공기공급에 대해서 합수율이 너무 높기 때문인 것으로 판단된다. 합수율이 높은 原슬러지를 이용하면 공극이 적어 通氣가 좋지 않기 때문에 슬러지케이크 입자의 표면에서만 好氣性 미생물이 서식하여 好氣性 분해가 일어나며, 슬러지케이크 입자의 내부에서는 嫌氣性 미생물에 의한 혐기성 분해가 일어나기 때문이다. 그러나 전처리한 실험2와 실험4의 경우에는 슬러지케이크 내부에서도 好氣性 분해가 일어나 악취문제는 없었다.

또, 합수율처리군과 무처리군에 대한 부속도를 비교 때와 같은 조건으로 합수율 無處理群內的 온도처리(실험3)와 온도 무처리(실험1)는 온도처리의 경우가 정점온도 발생일이 빠르고

정점온도가 높게 나타났다. 이는 합수율 무처리군의 부속물의 초기 온도처리가 부속을 가속시키는 것으로 나타났다. 합수율처리 실험군내 온도처리(실험4)와 무처리(실험2)의 온도변화는 D3까지 거의 같으나, 실험4는 다시 제2의 정점을 향해 증가하는 반면 실험2는 지속적으로 감소한다. 합수율 처리군에서도 온도처리(실험4)는 무처리(실험3)보다 부속환경이 양호한 것으로 판단된다. 실험4에서는 D3부터 제2의 미생물군에 의한 유기물분해가 다시 활발히 진행되어 제2의 정점온도를 이룬다. 그러므로 다른 변수를 고정시킬 때 부속물의 온도처리는 부속속도를 가속시킴을 알 수 있다.

2. 겨울 기상조건에서 부속도 판별변수의 실험별 변화

Fig. 5에서 보듯이 우선 실험별 頂點溫度를 관찰할 수 없었다. 물론 실험8은 D3에서 정점온도가 발생하였지만 이는 再加熱로 생긴 人爲的인 것이기 때문에 정점온도라 할 수 없다. 실험5를 제외하고는 계속 온도가 증가하는 상태이므로 이는 여름 기상조건에서의 실험(실험1~실험4)의 전처리에 해당되는 과정이라 볼 수 있다. 실험5의 경우, 부속물의 온도변화가 거의 없는 것은 합수율이 너무 낮아 어떤 미생물이든 활동이나 증식이 불가능한 때문인 것

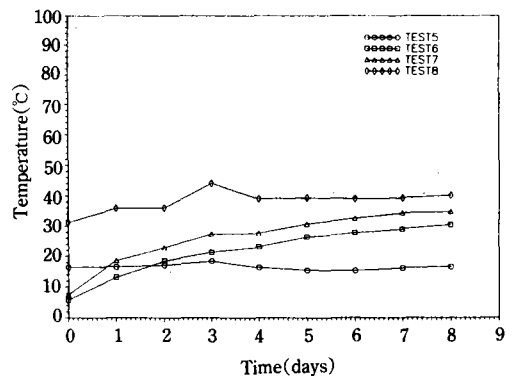


Fig. 5. Temperature variations for Tests with the lapse of composting time

같다. 그러므로 겨울철에는 효율적인 전처리시설을 필요로 한다.

여름 기상조건에서의 실험에서 이미 관찰하였듯이 전처리과정에서 함수율 감소처리는 C/N비 감소를 同伴한다. 그러나 실험6, 7, 8에서 전처리한 부숙물의 함수율은 감소가 되었지만 C/N비는 원슬러지케이크와 거의 같다. 이는 겨울철의 낮은 外氣溫의 영향으로 부숙이 거의 일어나지 않았으며 前處理기간 중의 온도가 매우 중요한 역할을 함을 알 수 있다.

실험5~실험8에서도 함수율의 변화는 여름 기상조건에서의 실험(실험1~실험4)때와 마찬가지로 거의 일정하였다. 미생물이 유기물을 분해할 때 수분속에 용존산소를 소비하므로, 미생물의 활동으로 인한 부숙물의 함수율 변화는 없다. 또한 실험5~실험8에서 부숙물의 함수율과 초기온도를 처리하였던, 하지 않았던 관계없이 일단 반응조에 투입하면, C/N비 감소는 1차 연구 때와 마찬가지로 약 20 정도로 나타났다. 이는 반응조의 C/N비 감소능력은 투입당시 부숙물의 이화학적 특성에 관계없이 약 20 정도 밖에 되지 않음을 뜻한다. 그러므로 보다 효율이 높은 반응조를 개발하지 않는 한, 부숙속도를 제고시키기 위해서는 슬러지의 초기 함수율과 C/N비 보정이 제지슬러지케이크의 비료화에 무엇보다 중요함을 알 수 있다. 반응조내의 제지슬러지케이크가 부숙되는 과정중 pH 7.3 정도의 약알칼리성으로, 부숙기간중 변화는 거의 일어나지 않았다. 그러나 부숙일이 경과됨에 따라 매우 약하게나마 산성화하려는 경향이 있었다.

3. 미생물의 밀도조사

본 연구에서는 부숙도의 판별변수로 채택한 부숙물의 C/N비와 온도변화의 영향을 분석하기 위해서 토양한천평판법을 이용하여 부숙물에서 식하는 미생물의 밀도조사를 하였다. 온도에 따른 미생물의 밀도변화를 알아보기 위하여 토

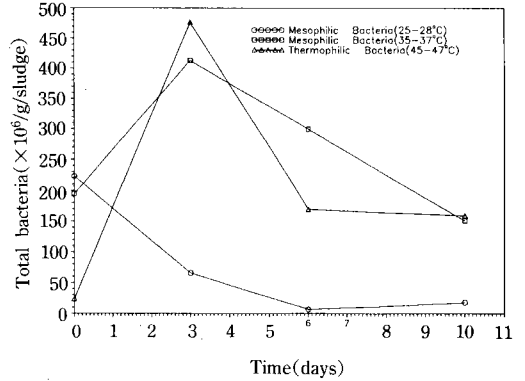


Fig. 6. Variations of bacterial density in composted paper-mill sludge for Test 1

양희석액을 섞은 배지를 25°C, 35°C, 45°C에서 각각 일정시간 배양한 후 생기는 미생물의 總菌數를 측정하였다. 총세균밀도는 희석배수를 10⁶으로 하였고 培地는 10%의 Tryptic Soy Agar (TSA)를 사용하여 각 온도에서 48시간 배양한 후 생성된 菌總數를 측정하였다. 총 진균수를 조사하기 위한 희석배수는 10²으로 하여 Martin's Agar에서 72시간 배양 후 균수를 측정하였다. 위의 모든 실험은 3회 반복하여 실시하였다.

Fig. 6은 실험1의 제지슬러지케이크의 부숙과정중 세균 밀도의 변화를 나타낸 것이다. 원슬러지케이크에서 제1 中溫性(mesophilic; 25°C~28°C) 세균의 밀도가 223×10⁶개/(g슬러지)로 부숙이 진행되면서 중온성 세균은 급격히 감소하였다. 이와는 반대로 제2 중온성(35°C~37°C)세균은 35°C에서, 高溫性(thermophilic; 45°C~47°C) 세균은 45°C에서 배양하였을 때, 각각 194.7×10⁶개/g, 23.6×10⁶개/g에서 413×10⁶개/g, 476×10⁶개/g으로 그 密度가 급격히 증가하였고, 시간이 지나고 온도가 떨어짐에 따라 그 밀도가 감소하여, 약 10일 후에는 부숙始作前과 비슷한 정도가 되었다. 이 결과로 보아 제지슬러지케이크의 부숙시작 3일 동안은 제2 중온성과 고온성 세균이 可用 영양분을 이용하여 부숙진행에 큰 역할을 하는 것으로 생각되며,

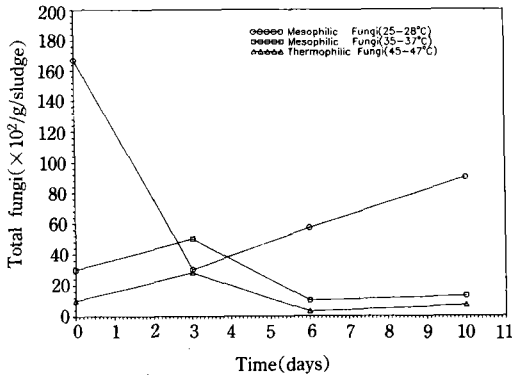


Fig. 7. Variations of fungal density in composted paper-mill sludge for Test 1

이는 다른 유기물의 부숙과정중 생기는 밀도변화와 비슷하다.

Fig. 7에서 나타난 것을 보면 진균 변화는 세균 밀도변화와는 약간 다른 변화를 보이는데 제1 중온성 진균은 처음 약 2일 동안에 167×10^2 /g에서 30×10^2 개/g로 감소하였다가 시간이 지남에 따라 서서히 증가하였고 제2 중온성 진균과 고온성 진균은 고온성 세균과 비슷한 증감을 보였다. 이 결과로 미루어 보면 제2 중온성 진균과 고온성 진균은 부숙을 시킨 후 2일 동안은 고온성 세균에 비해 부숙기여도가 낮은 것으로 생각된다.

IV. 結果 및 考察

본 연구는 제지슬러지케이크의 早期 腐熟化 條件을 提示하기 위하여 밀폐반응조를 이용한 기초 모형실험을 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 밀폐 반응조에서 제지슬러지케이크 부숙을 위한 적정함수율은 30~35%로 나타났다.
2. 여러 논문에서 제시한 부숙 적정함수율 50%~60%는 window 시스템의 경우로 판단되며, 밀폐 반응조를 이용한 제지 슬러지케이크 부숙의 경우, 함수율이 낮을 때(30% 정도)가 높을 때 (60% 정도)보다 오히려 부숙상태가

좋았다. 이는 有機物의 好氣性分解에는 최소한의 함수율은 30% 정도이면 충분함을 의미한다. 그러나 이보다 낮은 약 15% 정도의 함수율 (실험 5)에서는 거의 부숙이 진행되지 않았다. 물론 이 실험이 늦은 가을에 수행되어 초기 온도나 C/N비 등의 환경변수가 일반적으로 보고된 적정범위에 들지 않아 腐熟不振의 부분적인 원인이 될 수도 있으나, 반응조에서 부숙과정중 먼지가 날 정도로 부숙물이 건조하여 함수율이 主要原因임을 쉽게 관찰할 수 있었다.

3. 여름 기상조건하에서 부숙물을 자연건조시키면, 부숙물의 함수율 감소와 C/N비 同件 감소로 부숙촉진 效果가 있으며 여건만 허락한다면 자연상태의 前處理과정인 早期腐熟에 도움이 될 수 있다. 그러나 겨울 기상조건하에서의 자연건조는 낮은 외기온(5°C 내외) 때문에 부숙에 주도적 역할을 하는 中溫性, 高溫性 미생물의 활동이나 증식이 제한되어 C/N비 감소 효과도 거의 없었으며, 원슬러지의 함수율 감소기간도 여름조건보다 2배 이상 길어 개방형 자연건조 방식보다는 밀폐 강제처리 방식의 전처리시스템 적용이 바람직하다고 판단된다.

4. 기상조건과 이화학적 환경변수의 전처리 유무에 관계없이 부숙기간중 반응조내 부숙물의 함수율은 거의 변하지 않았다. 이는 공기공급 때 손실되는 水分량과 濕空氣學的으로 반응조내로 유입되는 공기가 飽和되어 생성되는 水分량과 균형을 이루기 때문인 것으로 판단된다.

5. 여름 기상조건하에서는 함수율을 처리한 부숙물의 초기 온도변화율은 함수율을 처리하지 않은 부숙물보다 약 2배 이상 커서, 슬러지를 투입한 후 하루만에 바로 頂點溫度에 도달한다. 함수율 무처리 부숙물은 부분적으로 혐기성분해가 일어나 부숙기간중 악취문제로 발생하였다.

6. 高溫性 미생물에 의한 유기물의 분해가 가장 효과적이므로 반응조내 열환경 유지를 위하여 반응조의 斷熱處理가 중요함을 알 수 있다.

7. 본 연구에서 설계, 제작한 모형반응조에 대한 9일간의 C/N비 감소능력은 기상조건, 전 처리의 유무에 관계없이 20 정도이므로, 良質의 유기질비료를 만들기 위해서는 부숙촉진제 첨가 등 C/N비를 補正이 필요하다.

8. 부숙일의 경과에 따른 부숙물에 서식하는 미생물의 增殖 및 活動의 상대적 변화는 부숙도 판별변수(온도와 C/N비)변화와 일치하였다.

이 연구는 한국학술진흥재단 지역개발연구과제 연구비에 의해서 수행된 것임.

參 考 文 獻

1. 환경청, 1985. 진주상평공단 폐수종말처리장 실시 설계보고서.
2. 경상대학교 농화학과, 내부자료, 1990.
3. Hong, J. H. Matsuda, J, and Y. Ikeuchi. 1985. An overview of compost maturity during solid composting in mixture of dairy manure and crop residues. J. Soc. Agric Str. 16(1) : 6~13.
4. 허중수, 김광식. 1985. 제지슬러지의 施用이 논토양의 화학성과 수도생육에 미치는 영향-1. 슬러지 시용이 토양중 질소형태 및 무기성분변화에 미치는 영향. 한국환경농학회지 4(2) : 78~87.
5. Chongrak P. 1991. 「Organic Waste Recycling」 (draft copy).
6. Nakasaki K, M. Shoda, and H. Kubota, 1985. Effect of temperature on composting of sewage sludge. Applied and Environmental Microbiology. 50(6) : 1526~1530.
7. 편집위원회. 1989. 『폐기물자원화 편람』. 한국자원재생공사.
8. Kim, Soo-Saeng. 1980. Waste reuse in Korea. Dept. of Sanitary Engr. Dong-A University.
9. Shoda and Phae. 1988. Composting of sewage sludge : Its trend and controlling factors. 동아대학교 환경문제연구소 연구보고 11(2) ; 327~333.
10. Bach P. D., M. Shoda and H. Kubota. 1984. Rate of composting of dewatered sewage sludge in continously mixed isothermal reactor. J. of Fermentation Technology 62(3) : 285~292.
11. Bell, R. G. 1969. Biological treatment of poultry manure collected from caged laying hens. Compost Science 10(3) : 18~21.
12. 서정운. 1989. 폐기물 퇴비화 과정중 물질 변화-3, C/N을 변화. 한국환경농학회지 8(1) : 55~59.
13. Taiganides, E. P. 1977. Composting of feedlot wastes. In 『Animal Waste』 : 241~251. Applied Science Publishers Ltd., London.
14. Bell, R. G. 1980. Thr role of compost and composting in modern agriculture. Compost Science.