

수피·돈분 부산물 비료의 부숙단계별 분광학적 특성 변화

양재의*, 박창진, 신명교¹⁾, 박용하²⁾, 최문헌³⁾, 김정규⁴⁾, 김정제
강원대학교 자원생물환경학부; ¹⁾한국생산기술연구원; ²⁾한국환경정책평가연구원; ³⁾국립식물검역소 서울지소;
⁴⁾고려대학교 응용생명환경화학과

Changes in Spectroscopic Characteristics of Bark and Piggery Manure By-Product Composts During the Composting

Jae E. Yang*, Chang-Jin Park, Myung-Kyo Shin¹⁾, Yong-Ha Park²⁾, Moon-Heon Choi³⁾ and Jeong-Je Kim (Division of Biological Environment, Kangwon National University, *yangjey@cc.kangwon.ac.kr; ¹⁾Korea Institute of Industrial Technology; ²⁾Korea Environment Institute; ³⁾National Plant Quarantine Service, Seoul Branch Office; ⁴⁾Dept. of Agricultural Chemistry, Korea University)

ABSTRACT : Changes of the spectroscopic characteristics of the organic matter fractions and circular filter paper chromatograph were assessed for the bark and piggery manure composts during the composting, as an approach to base the criteria of the compost maturity evaluation. Contents of humic acid-C (HA-C) and fulvic acid-C (FA-C) in both bark and piggery manure composts were decreased as the composting got closer to maturity, but the ratios of HA-C/FA-C were increased. During the composting, $\Delta \log K$ values were decreased, but RF values were increased. Humic acid of the mature bark compost after 120 days of composting was A-type, as compared to Rp-type for the raw bark and B-type for the immature compost. However, humic acid of the mature piggery manure composts after 40 days of composting was B-type, indicating the humification of the organic matter fractions continued at this stage. Circular filter paper chromatograph of the mature bark compost exhibited the regular sawteeth pattern at the edge, but that of the mature piggery manure showed an irregular sawteeth pattern. Results demonstrated that spectroscopic characteristics and circular filter paper chromatograph of the organic by-product composts might be employed for the compost stability assessment.

Key words : compost maturity, humic acid, fulvic acid, $\Delta \log K$, RF, humification

서 론

우리 나라에서 1997년에 환경농업 육성법이 제정되면서 부산물 비료의 사용량이 증가하고 있는 실정이나,¹⁾ 미 부숙된 퇴비에 의해 피해를 많이 받고 있는 실정이다. 부산물 비료의 부숙도는 농업적인 활용성이나 환경적인 중요성을 고려할 때 퇴비 생산업자나 소비자에게 매우 중요한 요인이기 때문에 이에 관한 연구가 외국에서는 활발히 진행되고 있는 실정이다.^{2,3,4,5,6)}

산업 부산물을 퇴비화한 후 부숙도를 판정하는 것은 원료의 특성과 농경지에 사용된 후 보여줄 수 있는 기능을 고려해야 하기 때문에 접근하는 각도에 따라서 판정기준 항목이 다양할 수밖에 없는 실정이다. 부숙도를 판정하는 방법을 요약해 보면, 화학적 특성, 물리적 특성, 생물학적 특성, 생물검정, 분광학적 특성 변화를 측정하여 기준을 도출하고 있다.²⁾ 그러므로 연구자에 따라

서 부산물비료의 부숙도를 판정하는 항목이 다를 수밖에 없고, 원료의 특성과 부재료의 혼합비율의 상이함에 따라 퇴비의 특성이 달라지므로, 몇 가지의 항목만으로 모든 부산물 비료의 부숙도를 평가할 수는 없는 실정이다.

부숙도 평가는 퇴비화 과정 중에서 산소의 소모량 또는 이산화탄소의 발생량을 측정하여 미생물 활성 (microbial biomass)을 검정하여 판정하거나, 또는 쉽게 분해될 수 있는 구성 성분의 변화를 측정하여 판정하는 것이 일반적이다.⁴⁾ 부산물 비료의 재료는 대부분이 유기성이므로 유기물을 많이 함유하게 된다. 이러한 재료는 미생물의 공격을 받아 분해될 수 있으므로, 유기물을 구성하는 성분의 특성 변화, 예를 들면 C/N 비, 부식화도 (humification degree), 수용성 C/N 비, 다당류의 변화 등이 부숙도를 평가할 수 있는 일부 항목으로 활용되고 있다.

유기물은 부숙상태에 따라 알칼리 추출액의 색도(400nm,

550nm, 600nm)가 변화하며, 부식산(Humic Acid)과 홀브산(Fulvic Acid)의 함량 비율이 변화하게 된다.^{7,8,9)} Kumada는 색도의 변화를 나타내는 지표인 $\Delta \log K$ 값과, 부식산 함량과 색도 변화를 나타내는 RF 값을 이용하여 유기물의 형태를 R_h, B, A, P type으로 분류하였으며, 부속이 진행됨에 따라 R_h → B → A → P type의 순으로 변화한다고 보고하였다.⁷⁾ $\Delta \log K$ 값은 부속이 진행됨에 따라 증가하며, RF 값은 감소하는 것으로 알려져 있다.^{7,10)} 이러한 경향은 이탄(peat)이나 부식산에서 매우 안정하게 나타나는 것으로 보고되고 있다.^{9,11)}

Hertelendy¹²⁾와 井ノ子¹³⁾는 도시 음식물 쓰레기 compost의 부속도를 간이검정하기 위해 원형여지 chromatograph법을 이용하였다. 원형여지 chromatograph법은 compost내의 수용성 유기 물질이 여지에 전개되면서 생성되는 톱니모양 띠의 형태를 이용하여 부속도를 판정하는 방법이다. 藤原 등¹⁴⁾은 우분, 돈분, 계분 등의 가축분 퇴비에 적용하였을 때 돈분과 계분의 경우에는 부속도 간이검정 방법으로서의 적용 가능성이 있으나, 우분의 경우에는 C/N 비와 환원당의 함량에 의한 영향이 커 적용이 불가능한 것으로 보고하였다.

본 연구는 수피 부산물 비료와 돈분 부산물 비료의 부속단계별 시료의 유기물 분획(부식산과 홀브산)의 함량 변화, $\Delta \log K$ 값과 RF값 등의 분광학적 특성 변화, 원형여지 chromatograph의 변화를 측정하여, 부속도의 판정 기준 설정을 위한 기초 자료로 활용하는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

공시재료

퇴비화 과정 중 유기물의 변화를 평가하기 위한 공시재료는 우리나라에서 널리 사용되고 있는 돈분 및 수피 부산물비료를 사용하였다. 부산물 비료의 원 재료로부터 완제품이 생산되는 과정에서 부속 단계별로 시료를 채취하여 유기물의 특성변화를 조사하였다. 수피 부산물 비료는 pulp 생산의 원료로 사용되는 wood chip을 생산할 때 발생하는 소나무 (*Pinus densiflora*) 수피를 주원료로 사용하여, 통기성 야적 발효조(원주 그린산업 시설 활용)에서 부속시켰다. 돈분 부산물비료는 양돈 농가로부터 수거한 돈분을 톱밥과 혼합하여 수분과 C/N 비를 조절한 후 강제송풍 교반식 호기성 발효 시스템(양평 축협 축분비료 공장 시설 활용)에서 부속시켰다. Han¹⁵⁾과 Yong¹⁶⁾은 각각 부산물 비료의 원료의 배합과 부산물 비료의 제조공정에 대해 설명하고 있다. 부속단계별로 채취된 공시재료는 陰乾 한 후 1mm이하로 분쇄하여 분석에 사용하였다.

부속단계별 부산물 비료의 유기물 분획화

부산물 비료의 유기물은 Kumada법⁷⁾을 이용하여 Humic Acid(HA)와 Fulvic Acid(FA)로 분획화하였다. 각 단계별 시료

(100mgC)를 100ml 삼각 flask에 취하고 0.1M NaOH 30ml와 0.1M Na₂P₂O₇ 30ml를 가했다. 수욕조에서 30분간 가열한 후 즉시 Na₂SO₄ 1g을 가하고 냉수욕조에서 냉각시켰다. 이 시료를 11,000rpm에서 15분간 원심분리하여 상등액은 100ml volumetric flask에 취했으며, 잔사시료에는 Na₂SO₄ 3%가 함유된 0.1M NaOH 20ml를 넣고 원심분리하여 세척하였다. 세척은 2회 반복했고, 이때 나온 상등액은 앞의 것과 합하여 증류수로 100ml 표선하였다. 이 용액 중 50ml를 원심분리관에 취하고 conc. H₂SO₄ 0.5ml를 가한 후 10분간 방치하였다. 이것을 5000rpm에서 10분간 원심분리하고, 여기서 얻은 상등액은 100ml volumetric flask에 넣었다. 황산(1+100) 10ml를 넣고 원심분리하여 세척하였고, 상등액은 앞의 것과 합한 후 증류수로 표선하였다. 이 용액을 FA로 간주하고 침전물은 HA로 간주하였다. 침전된 HA는 0.1M NaOH 5ml로 용해시킨 후, 100ml volumetric flask에 옮겨 0.1M NaOH로 표선하였다. 분획화된 FA와 HA 중의 탄소 함량은 Walkley-Black법을 이용하여 측정하였다.¹⁷⁾

부속단계별 부산물 비료의 분광학적 특성변화

부속단계별 유기물 분획의 분광학적 특성을 구명하기 위하여 분리가 끝난 유기물 분획의 용액을 여과지(Whatman No. 42)로 여과한 후 400nm와 600nm에서 분광광도계로 흡광도를 측정하였고, 700~210nm까지의 범위에서 흡광도를 연속 측정(scanning)하였다. 400nm와 600nm에서 측정한 흡광도와 HA의 탄소 함량을 이용하여 $\Delta \log K$ 와 RF값을 다음 식 (1)과 (2)에 의해 구했다.⁷⁾

$$\Delta \log K = \log K_{400} - \log K_{600} \text{ ----- (1)}$$

K_{400} : the optical density at 400nm

K_{600} : the optical density at 600nm

$$RF = K_{600} \times \frac{1000}{c} \text{ ----- (2)}$$

K_{600} : the optical density at 600nm

c : ml of 0.1N KMnO₄ consumed by 30ml of HA solution used for determining absorption spectrum
(0.1N KMnO₄ 1ml = 0.45mg carbon)

부속단계별 부산물 비료의 원형여지 Chromatograph의 변화

본 연구에서는 Hertelendy¹²⁾와 井ノ子¹³⁾법에 준하여 각 부속단계별 부산물 비료의 원형여지 chromatograph를 비교하였다. 각 부속단계별 부산물 비료의 원형여지 chromatograph 전개를 위해 0.1M NaOH 용액과 0.5% AgNO₃ 용액을 조제하였다. 각 부속단계별 부산물 비료 0.1g을 시험관에 취하였고, 0.1M NaOH용액 10ml를 가한 후 16시간동안 방치하였다. 이를 1000g로 원심분리시킨 후 상등액을 전개액으로 사용하였다. 원형여지 chromatograph를 전개시키기 위해 여지를 0.5% AgNO₃ 용액으로 착색시켰다. 여지 12장을 증발접시에 넣고 0.5% AgNO₃ 용액으로 충분히 적셔

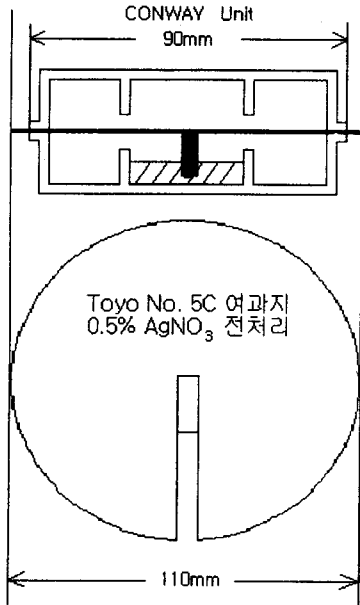


Figure 1. Schematics of equipment for circular filter paper chromatography.

1~2분간 방치 후 용액을 경사법에 의거하여 버린 다음 증발접시를 105℃에서 2시간정도 건조시켰다. 건조시킨 여지 중 착색된 맨 위와 아래 장은 버리고 나머지 10장을 시험에 사용하였다. 건조된 여지는 그림 1과 같이 자른 후 절단 부위를 2ml의 전개액에 담가 전개시켰다. 전개시간은 20~30분으로 하였으며, 직경 6cm 정도의 chromatogram이 되었을 때 전개액에 담갔던 부위를 잘라 전개를 중지시켰다. 전개가 끝난 여지는 실내에서 건조시켜 촬영 후 기록 보존하였다.

결과 및 고찰

부숙단계별 부산물 비료의 유기물 분획화

부식물질은 산과 염기에 대한 용해도에 따라 산과 염기에 모두 녹는 훌브산(FA)과 염기에는 녹으나 산에는 녹지 않는 부식산(HA) 및 산과 염기에 모두 녹지 않는 휴민(Humin) 등 세 가지로 나눌 수 있다.^{7,8)} 부식물질 중 HA-C와 FA-C는 부식화도가 증가할수록 감소하고, HA-C/FA-C 비는 증가하는 것으로 알려져 있다.^{4,8)}

표 1은 수피 부산물 비료와 돈분 부산물 비료 중 HA-C와 FA-C의 양과 HA-C/FA-C 비를 나타낸 것이다. 수피의 경우 부숙이 진행됨에 따라 HA-C와 FA-C의 함량은 점차 감소하는 경향이였으며, HA-C/FA-C 비는 증가하는 경향으로 나타나 Stevenson⁸⁾과 Hue와 Liu⁴⁾의 결과와 같은 경향이였다. 돈분 부산물 비료의 경우, 부숙이 진행됨에 따라 FA-C의 함량은 감소하였고, HA-C의 경우 초기에는 감소하였으나 부숙이 진행됨에 따라 점차 증가하는 것으로 나타났다. HA-C/FA-C의 비는 증가하였다. 수피 부산물 비료의 HA-C/FA-C 비는 초기(부숙 2일경과) 16.91에서 120일경과 후 31.17로 증가하였으며, 돈분 부산물 비료

Table 1. Contents of humic acid-C (HA-C), fulvic acid-C (FA-C), and their ratios of bark and piggery manure by-product composts during the composting.

Composting Time (Days)	(0.1M NaOH + 0.1M Na ₄ P ₂ O ₇) Extractable Carbon			
	T-C	HA-C	FA-C	HA-C/FA-C
	----- g C/kg -----			
Bark (raw material)	55.55	49.06	6.50	7.55
2	28.89	27.27	1.61	16.91
11	16.52	15.84	0.69	23.03
18	8.53	8.31	0.23	36.60
26	19.77	19.07	0.70	27.10
33	11.08	10.78	0.30	36.03
48	21.60	20.63	0.97	21.33
120	21.25	20.58	0.66	31.17
Piggery manure (raw material)	30.80	25.31	5.49	4.61
2	22.68	20.32	2.36	8.59
5	22.00	19.88	2.12	9.36
16	5.30	4.83	0.47	10.19
40	27.45	25.11	2.34	10.72

의 경우도 초기(부숙 2일경과) 8.59에서 40일경과 후 10.72로 증가하였다. Hue와 Liu는 [(평균값)+2*(표준편차)]의 기본식을 이용하여 NaOH 수용성 탄소 값 ≤60g/kg을 퇴비의 부숙이 완료된 값으로 평가하였다.⁴⁾

유기물의 분획물 중 부식산과 훌브산 등은 식물영양학적 측면이나 환경측면에서 중요한 역할을 하게 된다. 유기성 부산물 비료가 부숙되는 과정 중 이러한 유기물 분획물의 변화는 미생물의 활성과도 밀접하게 관련되어 있기 때문에 일정한 경향을 보여주는 특성이나, 이를 이용하여 정량적인 지표를 도출하여 부숙도를 평가하는 자료로 개발할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 본 연구에서 사용한 재료 이외의 부산물 비료에서도 이와 같은 정량적인 지표가 도출될 수 있는지에 관한 연구가 더 진행되어야 할 것이다.

부숙단계별 부산물 비료의 분광학적 특성변화

부산물 비료의 부숙이 진행됨에 따라 색이 암갈색에서 흑갈색을 강하게 띠며 이는 부식물질의 조성 변화에 의한 것으로 알려져 있다.^{2,3,18)} 부산물 비료 중의 유기물질은 분해된 후 부식물질로 변형되어 영양소의 저장 및 공급, 완충작용, 금속이온 불용화 등의 역할을 하게 되므로,⁸⁾ 부식물질(HA, FA)의 유기태 탄소 분포 변화와 분광학적 특성변화는 compost의 부숙도를 평가하는데 활용될 수 있다고 보고하고 있다.^{4,19,20)}

그림 2는 수피 부산물 비료와 돈분 부산물 비료의 부숙단계별 Δlog K값과 RF 값의 변화를 나타낸 것이다. Δlog K값은 600nm에서 측정된 흡광도와 400nm에서 측정된 흡광도의 차를 비교한 것으로 부숙이 진행됨에 따라 그 값은 작아진다.⁷⁾ 수피

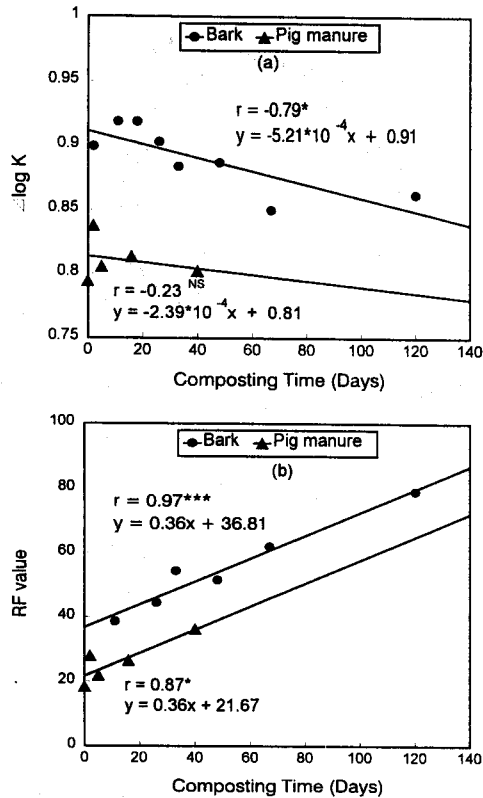


Figure 2. Changes in (a) $\Delta \log K$ and (b) RF values of bark and pig manure by-product composts during the composting. (NS: not significant; *, ***, significant at $p < 0.05$, 0.001 , respectively)

부산물 비료와 돈분 부산물 비료의 부숙단계별 $\Delta \log K$ 값은 수피의 경우 초기 0.90에서 120일경과 후 0.84로 부숙이 진행됨에 따라 감소하였고, 돈분의 경우도 감소하는 경향을 보였는데, 이는 Kumada⁷⁾와 Garcia 등¹⁰⁾의 결과에서도 같은 경향을 보여 주었다.

RF값은 상대색도를 나타내는 지표로서 부식산 용액의 600nm에서 측정된 흡광도와 부식산의 탄소함량 정량에 소비된 0.1N $KMnO_4$ 의 소비 ml수의 비율로 나타낸 값이다. 따라서 부숙이 진행됨에 따라 부식산의 양은 감소하므로 RF값은 증가되어야 한다.⁷⁾ 수피 부산물 비료와 돈분 부산물 비료의 RF값은 부숙이 진행됨에 따라 유의성 있게 증가하는 것으로 나타났다.

Kumada⁷⁾는 $\Delta \log K$ 값과 RF값을 이용하여 부식산의 형태를 분류하였는데, 부숙이 진행됨에 따라 부식산의 형태는 $R_p \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow P$ 형태로 변화된다. 이러한 분류를 수피 부산물 비료와 돈분 부산물 비료에 적용시킨 결과, 수피 부산물 비료의 경우 부숙 120일경과 후에 A 형태로 분류되어 거의 완숙된 것으로 판단할 수 있었으며, 돈분 부산물 비료의 경우는 40일경과 후에 B 형태로 분류되어 유기물의 부숙 과정이 진행되고 있는 것으로 판단할 수 있었다.

부숙단계별 부산물 비료의 원형여지 Chromatograph의 변화 원형여지 chromatogram에서 톱니 모양은 부숙도와 관련이 있

으며, 부숙 초기에는 톱니 모양이 나타나지 않거나 불규칙하지만 부숙이 진행될수록 톱니 모양이 명확하고 규칙적인 것으로 알려져 있다.¹³⁾ Hertelendy는¹²⁾ 톱니 모양이 발생하는 이유로 부숙기간 중 생성되는 부식물질에 의한 것으로 설명하였다. 그러나 井ノ子는¹³⁾ 도시 음식물 쓰레기의 급속한 분해로 인해 발생하는 단백질과 같은 유기화합물이나 당류 등이 유리상태로 존재하게 되고 이러한 물질들이 중축합반응을 하여 각종 아미노·카보닐 화합물 등의 갈색물질을 생성시키는데, 이 물질에 의해 chromatogram에서 갈색의 톱니 모양이 생성된다고 설명하였다.

그림 3과 그림 4는 각각 수피 부산물 비료와 돈분 부산물 비료의 부숙단계별 원형여지 chromatograph의 변화를 나타낸 것이다. 생수피의 경우 톱니 모양이 나타났으나 불규칙적으로 나타났고, 7일이 경과한 후에는 부분적으로 톱니 모양이 나타났으며, 67일이 경과하였을 때는 대부분이 규칙적인 톱니 모양을 나타냈으나 부분적으로 모양을 구분할 수 없는 부분도 있어 완숙되지 않은 것으로 판단할 수 있었다. 120일이 경과한 후에는 톱니 모양이 매우 규칙적이고 선명하게 나타나 완숙단계에 이른 것으로 판단할 수 있었다.

돈분 부산물 비료는 생돈분과 톱밥을 혼합한 직후의 경우 톱니 모양이 거의 없었으며, 16일이 경과한 후에도 매우 불규칙적인 모양을 나타내고 있었다. 40일이 경과한 후에는 규칙적인 톱니 모양을 나타내고 있었으나 부분적으로 불규칙적인 모양을 나타내 유기물의 분해과정이 아직 완숙에 이르지 않은 것으로 판단할 수 있었다. 원형여지 chromatograph 방법은 간이 검정도구로 부산물 비료의 부숙도를 정성적으로 판정할 수 있는 도구로 활용될 수 있다고 판단된다.

요 약

본 연구는 수피 부산물 비료와 돈분 부산물 비료의 부숙단계별 시료의 유기물 분획의 함량 변화, $\Delta \log K$ 값과 RF값 등의 분광학적 특성 변화, 원형여지 chromatograph의 변화를 측정하여, 부숙도의 판정 기준 설정을 위한 기초 자료로 활용하는데 그 목적이 있다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다. 수피와 돈분 부산물 비료 중 HA-C와 FA-C의 함량은 대체로 부숙이 진행됨에 따라 감소하는 경향이었고, HA-C/FA-C 비는 증가하였다. 수피와 돈분 부산물 비료의 $\Delta \log K$ 값은 부숙이 진행됨에 따라 감소하였으며, RF값은 증가하였다. 생수피의 부식산 형태는 R_p 형태였으나, B형태를 거쳐 120일경과 후 A형태로 변화하여 거의 완숙상태에 도달하였으며, 돈분 부산물 비료의 경우 40일경과 후에도 B형태로 나타나 유기물질의 부숙이 진행중인 것으로 판단되었다. 수피 부산물 비료의 원형여지 chromatograph는 120일경과 후에 규칙적인 톱니 모양을 하고 있어 완숙단계에 이른 것으로 판단할 수 있었으나, 돈분 부산물 비료의 경우는 40일이 경과한 후에도 부분적으로 불규칙적인 모양을 하고 있어 부숙이 진행되고 있는 상태인 것으로 판단할 수 있었다.

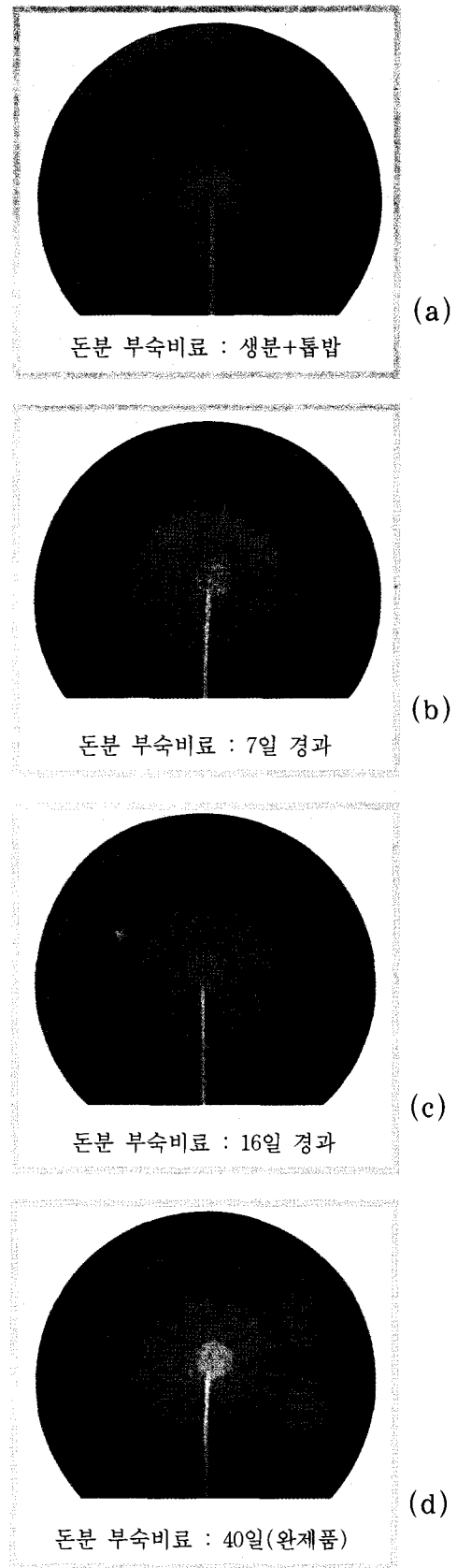
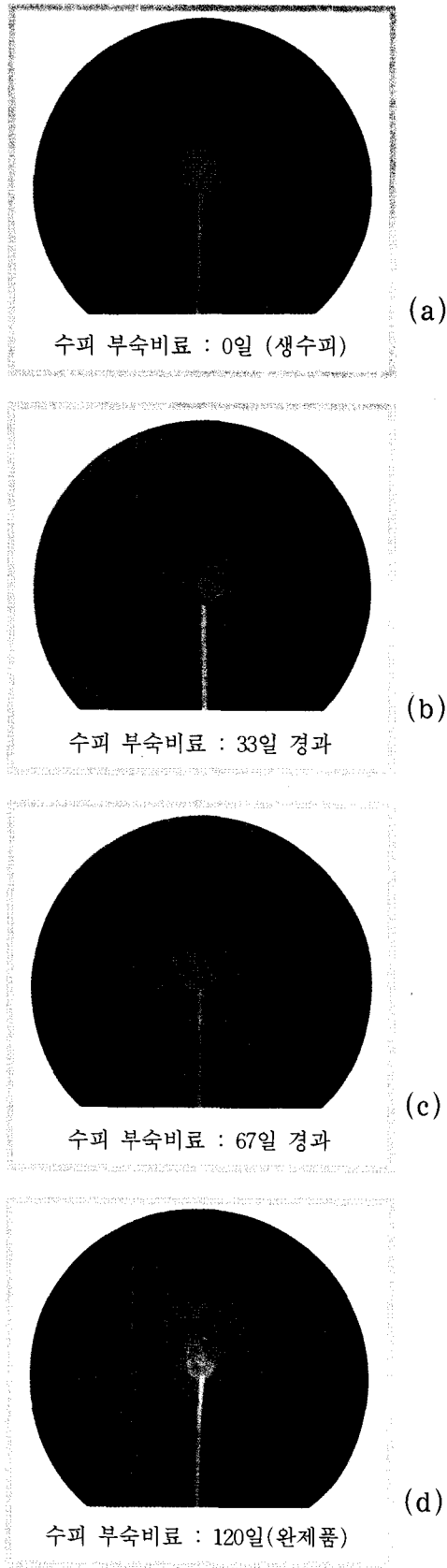


Figure 3. Circular filter paper chromatographs of the bark by-product composts during the composting: (a) raw bark; (b) 33 days; (c) 67 days; and (d) 120 days after composting (mature).

Figure 4. Circular filter paper chromatographs of the piggy manure by-product composts during the composting: (a) raw manure mixed with sawdust; (b) 7 days; (c) 16 days; and (d) 40 days after composting (mature).

사 사

이 연구는 1995년도 한국과학재단 핵심전문연구비 (과제번호: 951-0604-089-2) 지원에 의한 결과임.

참 고 문 헌

1. Yang, J.E., Eom, K.C., Jung, K.Y. and Yun, S.G. (1999) Environmentally Sound Agriculture and Fertilizers. 1999 Fall Symposium on "Fertilizer·Food·Environment" Cosponsored by Korean Soc. Soil Sci. and Fertilizer, and Institutes of Natural Resources, and Natural Environment Conservation, Korea University (in Korean).
2. He, X.T., Traina, S.J. and Logan, T.J. (1992) Chemical properties of municipal solid waste composts. *J. Environ. Qual.*, 21:318-329.
3. Rynk, R. (ed.) (1992) On-farm composting handbook. Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service, Cooperative Extension, Cornell University, Ithaca, N.Y., USA.
4. Hue, N.V. and Liu, J. (1995) Predicting compost stability. *Compost Science and Utilization*, 3 : 8-15.
5. Riffaldi, R., Levi-Minzi, R., Pera A., and de Bertoldi (1986) Evaluation of compost maturity by means of chemical and microbial analyses. *Waste Management & Research*, 4 : 387-396.
6. Herrmann, R. and Shann, J.R. (1993) Enzyme activities as indicators of municipal solid waste compost maturity. *Compost Sci. & Utilization*, 1 : 54-63.
7. Kumada, K. (1987) Chemistry of soil organic matter. Japan Scientific Societies Press.
8. Stevenson, F. J. (1994) Humus chemistry: Genesis, composition, and reactions. 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, USA.
9. Tsutsuki, K. and Kuwatsuka, S. (1984) Molecular size distribution of humic acids as affected by the ionic strength and the degree of humification. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 30 : 151~162.
10. Garcia, C., Hernandez, T., and Costa, F. (1991) Study on water extract of sewage sludge composts. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 37(3) : 399~408.
11. Kaila, A. (1956) Determination of the degree of humification in peat samples. *Maatalousiet. Aikak.*, 28 : 18~30.
12. Hertelendy, K. (1974) Paper Chromatography, a quick method to determine the degree of humification. *IRCWD News*, No. 7, WHO, pp. 1~3.
13. 井ノ子, 昭夫. (1979) 円形濾紙 クロマトグラフィーによる都市ごみコンポストの腐熟度の簡易検定法. *日本土壤肥料學會雜誌*, 50(2) : 127~132.
14. 藤原, 俊六郎, 井ノ子昭夫, 松崎敏英, 鎌田春海. (1981) 家畜ふんの堆積に伴う有機成分組成の變化と円形濾紙 クロマトグラフィーによる腐熟度検定. *日本土壤肥料學會雜誌*, 52(4) : 311~316.
15. Han, Y.K. (1996) Characterization of the changes in chemical characteristics during the composting and assessment of the maturity of the bark compost. Mater's Thesis, Department of Agricultural Chemistry, Graduate School, Kangwon National University, Chunchon, Korea (in Korean).
16. Yong, S.H. (1996) Assessment of maturity and quality of the animal waste by-product fertilizer. Mater's Thesis, Department of Agricultural Chemistry, Graduate School, Kangwon National University, Chunchon, Korea (in Korean).
17. Inbar, Y., Hadar, Y. and Chen, Y. (1993) Recycling of cattle manure: The composting process and characterization of maturity. *J. Environ. Qual.*, 22 : 857~863.
18. 河田, 弘. (1981) 樹皮肥料. 博友社.
19. Inbar, Y., Chen, Y. and Hadar, Y. (1990) Humic substances formed during the composting of organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54 : 1316-1323.
20. Saviozzi, A., Levi-Minzi, R. and Riffaldi, R. (1988) Maturity evaluation of organic waste. *Biocycle*, 29 : 54-56.