

최 종
연구보고서

631.895
L 2934

부산물비료(퇴비)의 물리성 품질관리 기준설정

The Physical Quality Criteria Proposal
for Management of Organic By-product
Fertilizers

연구기관

고려대학교

농림부



제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “부산물비료(퇴비)의 물리성 품질관리 기준설정” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2000 . 10. 13.

주관연구기관명 : 고 려 대 학 교

총괄연구책임자 : 임 수 길

연 구 원 : 이창호, 옥용식

이정우, 이수진

조형인, 김남범

세부연구기관명 : 고 려 대 학 교

세부연구책임자 : 김 정 규

요 약 문

I. 제목

부산물비료(퇴비)의 물리성 품질관리 기준설정

II. 연구개발의 목적 및 중요성

1. 목적

- 가. 상용부산물비료의 물리·화학성을 정밀히 파악한다.
- 나. 부산물비료의 사용 현장에서는 부산물비료의 투입으로 오히려 토양의 물리적 특성을 악화시키는 사례가 있으므로 이러한 물리성악화의 원인을 파악한다.
- 다. 부산물비료의 투입에 따른 토양의 구조적, 수리학적 특성 변화를 조사하고 부산물비료의 투입이 토양물리성에 미치는 영향을 평가한다.
- 라. 국내에서 시판되고 있는 상용 부산물비료는 유기물, 유해물질의 함량, 수분함량을 품질관리기준으로 설정하고 있으나 더 나은 퇴비의 품질관리를 위하여 품질관리 기준으로서 퇴비의 물리적 특성의 타당성을 검증하고 도입방안을 마련한다.

2. 중요성

- 가. 토양비옥도 평가기준으로서 토양부식의 중요성은 널리 인정되고 있으며, 유기물함량은 농경지 토양의 비옥도를 결정하는 중요한 요인이다.
- 나. 60-70년대 화학비료공업의 발달, 농촌일손부족 및 증산위주의 농업정책으로 퇴비의 이용량이 저조하였으나 최근에는 시설재배지나 신농법을 추구하는 농가들을 중심으로 퇴비의 제조 및 이용률이 급증하고 있다.

- 다. 시중에 유통되고 있는 부산물비료의 경우 공정규격에 미달되는 사례가 빈번할 뿐만이 아니라 불법유통되는 제품에 의한 농가의 피해가 속출하고 있어 부산물비료의 품질관리에 관한 우려가 증대되고 있다.
- 라. 현재 유통되고 있는 부산물비료는 가축분퇴비가 주종을 이루고 있으나 일부 부산물비료 업체에서는 산업폐기물을 원료로 이용하여 제품을 생산·공급하는 경우가 있으며, 원료와 폐기물의 종류에 따라 생산된 부산물비료의 화학적, 물리적 성분조성이 다양하여 품질관리상에 어려움이 많다.
- 마. 부산물을 이용한 퇴비의 생산은 원료의 배합이나 부숙공정, 퇴비의 안정성, 용도별 품목생산, 작물과 토양에 대한 검증이 미흡하였다.
- 바. 퇴비의 물리성을 비롯한 현실적인 품질관리기준을 설정함으로써 제조업체뿐만이 아니라 농민들에게도 적절한 등급의 퇴비생산과 선택을 용이하게 할 수 있다.
- 사. 부산물비료의 생산은 유기성 폐자원을 부숙시켜 농업재료로 이용함으로써 폐자원 처리라는 환경적인 문제점과 유기질 자원을 필요로 하는 농업의 문제점을 동시에 해결하는 최적의 해결방안이다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

년차 구분	연구개발목표	연구개발내용 및 범위
1년차 (1999)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 상용 부산물 비료 수집하고, 분류하여 시료수집의 대표성과 타당성을 검증한다. ○ 시판 부산물비료의 화학성을 정밀 분석, 평가한다. ○ 시판 부산물비료 물리성을 분석, 평가한다. ○ 수집 부산물비료의 물리·화학성을 정밀분석하고 물리적 특성에 대하여 품질기준으로서의 타당성과 가능성을 평가한다. ○ 부산물비료의 혼합 후 aging을 통하여 부산물비료의 투여가 토양의 물리성에 미치는 영향을 중점적으로 조사한다. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 원료별, 생산자별, 생산량별 각 항목별 측정값의 분포를 조사하고, 일일생산량에 따른 가중치를 적용한다. ○ CEC, 염농도, C/N율, pH, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$, P, K 등을 분석한다. ○ 입도분포, 색도, 용적밀도, 점탄성과 추출액의 점도, 수분특성 등을 정밀분석한다. ○ 100여 개 국내 시판 부산물비료의 화학성과 물리성의 평균값, 가중평균값, 중위값을 구하고 분포도를 작성한다. ○ 부속단계별 시료를 채취하여 화학성과 물리성의 변화를 파악한다. ○ 다양한 토양에 부산물비료의 사용이 입도, 내수성입단, 용적밀도, 수분특성, 포화투수계수, 불포화투수계수의 변화에 미치는 영향을 파악한다.
2년차 (2000)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 칼럼실험을 통하여 부산물비료의 투여가 토양의 수리학적 특성에 미치는 영향을 중점으로 파악한다. ○ 식물체 재배를 통한 부산물비료의 토양혼합 영향을 분석한다. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 부산물비료의 투여가 입도, 내수성입단, 용적밀도, 수분특성, 포화투수계수의 변화에 미치는 영향을 분석한다. ○ 작물생장량을 조사하고 부속단계별 부산물비료의 생육반응을 조사한다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 관한 건의

1. 연구개발 결과

가. 시판 부산물비료의 화학적 특성

- 1) 시판 부산물비료 100여종의 중금속함량 및 물리·화학적성분을 분석한 결과, 중금속과 유기물 함량, 유기물 대 질소, 그리고 암모니아태질소 대 질산태질소 비율의 분포형태는 낮은 값으로 편포(skewed distribution)된 형태를 보였으며, 이들 중 Mn과 Zn을 제외한 Cd, Pb, Cu, Cr, 및 암모니아태질소 대 질산태질소 비율은 극편포(極分布)를 나타냈다. 암모니아태질소 대 질산태질소 비의 경우 미부숙된 제품의 영향으로 생각할 수 있다. 시판 부산물비료의 물리·화학적성분별 중심점은 수분함량을 제외한 모든 분석항목에서 중위수가 산술평균보다 낮게 나타나, 산술평균에 미치는 극대 값들의 영향이 컸다.
- 2) 중금속 중 구리 함량은 돈분을 원료로 제조한 부산물비료에서의 Cu함량이 높아 품질에 대한 제한 요인으로 작용하였다.
- 3) 일반적으로 부숙이 진행될수록 부식산은 증가하는 경향을 나타낸 반면 폴브산 함량은 증가하거나 큰 변화가 없는 것으로 나타났으며 부식화율(HA/FA)은 증가하는 경향을 나타내었다.

나. 부산물비료의 부숙화 과정에서의 화학적 특성

- 1) 수분함량은 모든 제품에서 감소하는 경향을 나타냈으나 부숙화에 중요한 미생물 활성을 촉진하기 위해 생산과정에서 인위적인 수분 공급을 실시하여 수분 함량이 뚜렷하게 지속적으로 감소되지는 않았다. 부숙 단계별 pH, 전기전도도와 질산태 질소는 일정한 증가 또는 감소 경향을 보이지 않아 이러한 항목들은 특히 원재료와 부숙 방법에 따른 차이가 크게 나타남을 알 수 있었다.
- 2) 부숙화에 따른 이화학적 중 원재료와 부숙방법에 관계없이 부숙이 진행

될수록 뚜렷한 증가경향을 나타낸 항목은 양이온치환용량과 부숙화도 (humification index, HI)로서 모든 제품에서 증가하는 경향을 나타냈다. 암모니아태 질소 대 질산태 질소 비는 전반적으로 감소하는 경향이 있었다.

다. 시판 부산물비료와 부숙 단계별 부산물비료의 물리적 특성

- 1) 전 시료의 상대점도값은 물보다 높았으며 1.01 ~ 1.50의 범위를 보였다. 부숙 단계별 점도의 변화는 부숙의 진전에 따라 일정한 경향을 보이지 않았다. 시료에 따라 상대점도값이 다양하게 나타난 것은 수용성 부식 또는 비부식물질의 함량과 미세입자량의 차이에 기인한 결과라고 생각된다.
- 2) 400nm에서부터 20nm씩 증가시켜 가면서 700nm까지 각 파장별 반사율을 나타낸 분광반사율 곡선(spectral reflectance curve)은 지수적으로 증가하는 형태를 보였으며 이때 함수식은 $Y = a \cdot \exp(bx)$ 로 표현 할 수 있었다.
- 3) Munsell 색도좌표를 측정된 결과, 색상은 황색(Y)에서 황적색(YR)이었으며 명도는 전체적으로는 2~6의 범위였으나 대부분이 2~3의 값을 보여 흑색에 가까운 어두운 수치를 보였으며, 모든 제품에서 부숙이 진행될수록 명도값이 줄어드는 경향을 보였다.
- 4) CIE XYZ(Y_{xy}) 표색계를 이용한 경우, 제품별 Y값이 -63.464 ~ -92.433의 범위였으며 전체시료의 97% 이상이 -80이상이었고, -90이상의 값을 가지는 시료도 37%나 존재하였다. 제품별 부숙단계에 따른 Y_{xy} 값의 변화는 명도를 나타내는 Y값이 부숙이 진행될수록 어두워지는 경향을 보였다.
- 5) 입도지수는 0.54~1.16mm의 값을 나타내었으며 대부분의 제품에서 1이하의 값을 보였다. 이와 같이 다양한 값을 보이는 이유는 원재료의 입자크기의 차이와 부숙화 과정 중의 분해에 관련된 미생물의 활성 차이

에 기인한 결과라고 생각된다.

- 6) 부산물 비료의 입자크기가 달라지면 토양의 수리전도도에 미치는 영향이 달라지기 때문에 용적밀도보다 더 정밀하게 그 영향을 파악할 수 있는 입도가중용적밀도를 산출하여 비교하였다. 입도가중용적밀도는 부산물비료를 세 가지의 입도로 분획하여 각 분획의 평균입도와 함량을로부터 구하였다. 시판 부산물비료의 용적밀도는 0.29~0.84의 값이었으며 입도가중용적밀도는 0.21~0.54 이었다. 부속단계별 입도가중용적밀도의 변화는 대부분의 제품에서 큰 변화는 없었으나 용적밀도와 유기물간의 상관($R^2=0.67$)보다 입도가중용적밀도와 유기물함량간의 상관($R^2=0.78$)이 더 높게 나타났다.

라. 부산물비료의 시용이 토양의 물리성에 미치는 영향

- 1) 부속단계 별로 채취한 부산물비료를 토양의 용적밀도를 일정하게 유지하면서 혼합하였을 때, 무처리구보다 오히려 부산물비료를 혼합한 처리구에서의 포화수리전도도가 낮게 나타났다. 이러한 결과는 유기물 혼합으로 토양의 공극이 매워진 결과로 판단되었다. 따라서 부산물 비료 혼합 토양에서의 수리전도도의 측정을 위해서는 일정한 용적비중으로 조정하여 측정하는 방법은 사용할 수 없고, 혼합 후에 저면관수를 지속적으로 실시하여 평형을 이루게 한 후에 측정하는 방법을 택해야 할 것으로 판단하였다.
- 2) 무처리구에 비해 퇴비처리구에서, 처리구에서는 부산물 비료의 혼합량이 증가할수록, 높은 포화수리전도도를 보였다. 입도지수가 0.3인 사양토에서는 실험에서 혼합한 비료량의 범위 안에서는 모든 수준에서 무처리 < 0.5~2mm < 0.045~0.25mm < 0.5~0.25의 순으로 포화수리전도도가 높게 나타났다.
- 3) 토성별로 퇴비를 혼합한 후, 1년간 묵힌 후 각각의 토양의 입단화도는 사양토의 경우 동일한 양을 혼합하였을 때에는 0.5mm이상 크기의 입

단형성보다 0.25~0.5mm 크기의 입단형성비가 높았으며 무처리에 비해 모든 부산물비료 혼합구의 입단화도가 높게 나타났으나, 부산물비료의 투입량이 증가할수록 입단화도가 감소하는 경향을 보였다. 사질식양토의 경우 동일량의 혼합에서 0.5mm이상 크기의 입단비가 높았으며 무처리에 비해 0.25~0.5mm 크기의 입단은 큰 변화가 나타나지 않았으나 0.5mm보다 큰 입단은 감소하였다. 그리고 부산물 비료 투입량 증가에 따른 일정한 경향은 보이지 않았다. 식양토의 경우 동일량으로 처리된 때에는 0.25~0.5mm 크기의 입단비가 높았으며 무처리에 비해 0.25~0.5mm 크기의 입단의 양이 현저하게 감소하였으며, 혼합량 증가에 따라 0.5mm 보다 큰 크기의 입단이 소폭 증가하였다.

- 4) 토성별 무처리구에 대한 퇴비 혼합구의 용적밀도 변화는 식양토에서는 1.13g/cm³에서 1.32g/cm³, 사질식양토에서는 1.20 g cm⁻³에서 1.27 g cm⁻³로 증가한 반면, 사양토에서는 1.25 g cm⁻³에서 1.14 g cm⁻³로 감소하였다.
- 5). 토양수분장력이 높아질수록 사양토에서는 불포화 수리전도도가 급격하게 증가한 반면 식양토와 사질식양토에서는 완만하였다. 이때 -30cm의 매트릭포텐셜에서는 불포화수리전도도가 식양토>사질식양토>사양토의 순이었으며 수분 포화시에는 사양토>>식양토>사질식양토순이었으나, 식양토와 사질식양토에서는 그 차이는 크지 않았다.
- 6) 매트릭포텐셜이 -30cm하에서는 모든 토성에서 부산물 비료의 혼합량 증가에 관계없이 무처리에 비해 낮은 불포화 수리전도도를 보였으며, 매트릭포텐셜이 -10cm하에서는 사질식양토의 경우 대부분의 시료가 혼합량 증가에 관계없이 무처리에 비해 높은 불포화 수리전도도를 보였으며, 사양토에서는 대부분의 시료가 혼합량 증가에 관계없이 무처리에 비해 낮은 불포화 수리전도도를 보였다.

2. 활용에 대한 건의

유기성 폐자원을 이용한 부산물비료의 생산 및 이용은 폐자원의 활용과 농경지의 비옥도 향상이라는 두 가지 측면에서 큰 의의를 지니고 있으나 부산물비료의 생산시 불량폐기물을 원료로 이용하거나 아직 완전히 부숙되지 않은 미부숙퇴비를 시판함으로써 발생하는 농경지의 2차 오염과 물리성 악화가 문제로 대두되고 있다. 따라서 퇴비의 물리적 특성과 농경지 투여시 토양의 물리성변화를 파악함으로써 퇴비의 물리적 품질 기준설정의 가능성과 타당성을 검증하고, 효과적인 부산물비료의 품질관리를 위하여 기존의 화학성 기준뿐 아니라 물리성 기준이 설정될 필요성이 있음을 확인하였다. 본 연구결과와 활용에 대하여 다음과 같이 건의한다.

- 본 연구결과에서는 다양한 시판 부산물비료의 화학성 현황을 중위수, 가중평균, 분포도 등을 이용하여 폭넓게 제시하고 있으며 이러한 화학성 현황의 파악은 기존의 부산물비료의 관리에 사용되어 온 화학성 평균치의 문제점을 지적하고 있고, 또한 간접적으로 물리성 기준 설정의 필요성을 내포하고 있어 부산물비료의 품질현황을 파악할 수 있도록 각 농업관련 연구소 및 부산물비료의 생산자, 각도 농업기술원에 배부토록 한다.
- 본 연구결과에 제시된 부산물비료의 물리성과 부산물 비료를 토양에 투여한 후 토양의 물리성 변화에 관한 결과는 토양과 부산물 비료의 질적 다양성을 보여주고 있다. 즉, 본 연구에서 시도된 실험방법들은 전반적이고 종합적인 평가를 위한 기초적 접근방법을 제시하였다고 판단된다. 이러한 방법들은 퇴비의 물리적 특성에 대한 품질관리를 위한 기준의 설정 유무에 상관없이 현장 실무자 또는 연구자들이 퇴비의 품질을 평가하는 척도와 방법으로 이용될 수 있을 것이다.
- 본 연구결과에서 제시된 부산물비료의 토양 투여시 나타나는 토양의 구조와 수리학적 특성의 변화는 토양의 토성과 퇴비의 투여량에 따라 다

르게 나타나고 있어, 종합적인 판단을 위해서는 반드시 부산물비료 투여시 나타나는 토양의 물리성 변화에 대한 추가연구가 필요하며, 또한 퇴비의 사용에 있어서 농지의 토성에 따른 퇴비의 권장 투여량에 관한 연구가 토양의 물리성 변화와 관련하여 이루어져야 할 것이다.

- 환경농업에 있어 부산물비료 사용의 효용성을 알리고 토양비옥도의 유지를 위하여 지금까지 간과해왔던 부산물비료의 물리성과 투여 토양의 물리성에 관한 연구의 필요성을 적극적으로 홍보하고, 연구를 지원한다.
- 본 연구에서는 이러한 결과와 고찰을 바탕으로 부산물비료의 물리성 품질 기준을 설정함에 있어서 다음을 (안)으로 제안하고자 한다.
 - 첫째, 현 단계에서 토양과 부산물 비료의 질적 다양성으로 인하여 일률적인 기준을 설정하고 운영하는 것은 큰 무리가 따를 것이다. 본 연구 결과로 도출된 부산물 비료의 입도와 입도가중용적밀도 등에 대한 모니터링 자료를 축적한 후 그 결과에 대한 검토를 바탕으로 기준의 설정여부를 최종 판단하도록 건의한다. 그러나, 토양의 악화를 조기에 억제하고, 빈발하고 있는 민원 등의 이유로 '물리성 품질 기준 설정'을 미루지 못할 경우에는 다음의 둘째, 셋째의 안을 제안한다.
 - 둘째, 본 연구에서 제안하는 물리성 품질 기준은 기존의 화학성 품질 기준을 병렬적으로 보완하는 성격으로 운영하도록 한다. 즉 기존의 화학성 기준과 본 연구에서 제시된 입도와 입자가중용적밀도 등으로 농경지에 투입되어서는 안 되는 제품을 제한하는 등급화기준으로 부산물 비료의 물리성 기준을 운용하도록 하는 것이다.
 - 셋째, 기존의 화학성 기준과 달리 독립된 기준체계로 물리성 기준을 운영하는 방안이다. 즉, 물리성 기준의 어느 한 항목이라도 기준을 통과하지 못하는 부산물 비료는 불합격 된 것으로 판단하도록 하는 방안이다. 이 경우에는 엄격한 품질관리가 이루어질 수 있으나, 제품을 생산하는 기업의 입장에서의 민원이 제기될 가능성이 많다. 따라서 품질에

대한 검사를 담당하는 인력에 대한 교육훈련과 제품생산자 및 사용자에 대한 홍보가 충분하게 이루어진 후에 도입되어야 한다.

이상의 물리성 품질관리 기준(안)을 정리하면 다음과 같다.

	제 1안	제 2안	제 3안
개요	물리성기준 설정 없음	등급판정기준으로 운용	독립적 기준으로 운용
수분함량	-	1등급: 50%이하 2등급: 60%이하	60%
입도지수	-	1등급: 0.8이하 2등급: 1.0이하	1.0이하
입자가중 용적밀도	-	1등급: 0.37이하 2등급: 0.45이하	0.45이하
운용시 준비사항	* 생산자의 내부품 질관리기준으로 활 용하기 위하여 연구 결과 보급	* 법 제정 (물리성기준의 등급화) * 교육, 홍보	* 법제정 (물리성기준 추가) * 교육, 홍보

SUMMARY

Organic byproduct fertilizer has a lot of beneficial effects. Most are due to soil quality improvement and nutrient enhancement in soil condition result in increases in crop quality and yield. In order to maximize the beneficial effects of organic byproduct fertilizer, careful consideration to processing control, management, and application should be considered.

The scope of this work divided into three parts. 1) The development of the appropriate physical method to estimate the final quality of organic byproduct fertilizer. 2) The determination of the application effect of organic byproduct fertilizer with different composting degree on the physico-chemical properties when amended into various soil types. 3) The clarification of the relationship between the organic byproduct application and the soil infiltration characteristics dependent to soil physical properties like aggregation degree and bulk density. The infiltration properties were analyzed using saturated hydraulic conductivity of unaged soil and unsaturated hydraulic conductivity of amended soil aged for 1 year under natural condition.

Chapter 1. Introduction.

Research objective

Chapter 2. The chemical properties of commercial organic byproduct fertilizers.

1. Heavy metal content, organic matter percent, OM/N and $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ showed a left-skewed distribution. The distribution pattern for heavy metals (Cd, Pb, Cu, Cr) and $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ showed extremely skewed distribution due to the unevenness of raw materials and the use of inappropriate materials.
2. Median values of chemical properties were lower than means for all components except water content. Especially, the differences between two values were greatest in Cr content. The weighed average value showed higher than median in all components except water content. The weighted values of most metal content including Cu, Mn, Pb and Zn were higher than means.
3. Among organic byproduct fertilizers, the products derived from pig manure showed extremely higher Cu concentration due to the usage of growth-promoting chemicals including high Cu content.

Chapter 3. The chemical properties of organic byproduct fertilizer by composting stage.

1. The contents of fulvic acid increased slightly and humic acid increased consistently during the composting process. The changes of the concentration of humic materials resulted in the increase of humification ratio and humification index.
2. The artificial watering to promote the microbial activities disturbed the tendency of moisture content of immature organic

byproduct fertilizer sampled from factories. Electric conductivity, pH, nitrate concentration were highly influenced by the kind of raw materials and processing systems.

3. Cation exchange capacity, humification index showed values representing the composting degree of byproduct fertilizers. Apart from the chemical properties of raw materials, CEC and HI showed consistent increase in the course of composing.

Chapter 4. The physical properties of commercial organic byproduct fertilizers and organic byproduct fertilizers by composting stage.

1. Relative viscosity determined using Ostwald type capillary viscometer showed the higher values (1.01-1.50) of the water soluble substances of organic byproduct fertilizer than that of distilled water. It was suggested that the viscosity might be affected by the content of water-soluble humic materials, non-humic materials, and extremely fine particles changing the flux of water via capillary tubes
2. Spectral reflectance curve measured from 400nm to 700nm by increasing in every 20nm increased exponentially. Functional determinant of graph showed $Y=a \cdot \exp(bx)$ format.
3. Munsell color notation measured by spectral reflectance ratio in manure ranged from yellow(Y) to yellow-red(YR). The brightness value ranged from 2 to 6, but most of the sample values are in 2~3. These value decreased as decomposition proceeded.
4. Relative spectral reflectance estimated at 700nm and Color

difference expressed by ΔE^*_{ab} showed decreased tendency by compositing stage.

5. Mean particle size index calculated by $\Sigma(\text{amount of sample for particle size} \times \text{mean particle index of each fraction})$ ranged from 0.54 to 1.16.
6. Bulk density and particle size-weighted bulk density(PWBD) of commercial organic byproduct fertilizer showed ranges of 0.29 ~ 0.84 and 0.21 ~ 0.54, respectively. PWBD of organic byproduct fertilizer did not show significant changes during composting. Correlation coefficient between bulk density($r^2=0.67$) and organic matter content was smaller than between PWBD and organic matter content($r^2=0.78$).

Chapter 5. The effects of physical properties of soil amended with organic byproduct fertilizers.

1. Saturated hydraulic conductivity was not significantly correlated with composting stage. The saturated hydraulic conductivity of soil increased after organic byproduct fertilizer amendment, however, the degrees of influence were differed by particle size of byproduct fertilizers. The influence of fraction size on saturated hydraulic conductivity was increased by the order of 0.5~2mm < 0.045~0.25mm < 0.25~0.5mm.
2. The effects of organic byproduct fertilizer amendment on the aggregation degree was various dependent to soil type. In sandy loam, the amendment of organic byproduct fertilizer increased

aggregation degree over the all treatments compared to control and promoted the creation of relatively small aggregation(0.25~0.5mm). However, the creation of large aggregation(>0.5mm) was accelerated by the amendment of organic byproduct fertilizer in sandy clay loam. Even though the smaller aggregation(0.25~0.5mm) decreased by amendment of organic byproduct fertilizer in clay loam compared to control, large amount of small size fraction(0.25~0.5mm) of aggregation created by amendment compared to higher fraction.

3. The bulk density of soil used in this experiment was 1.13 g cm³ for clay loam, 1.32 g cm³ for sandy clay loam and 1.25 g cm³ for sandy loam. After amendment, in case of clay loam and sandy clay loam, bulk density was 1.32 and 1.27 g cm³. But, sandy loam was decreased from 1.25 to 1.14 g cm³. The influenced of organic byproduct fertilizer amendment on the aggregation of soil particle was affected by soil texture.
4. Unsaturated hydraulic conductivity differed by soil type with the order of clay loam > sandy clay loam > sandy loam under the low matric potential(-30cm). However, in the saturated moisture condition, unsaturated hydraulic conductivity was changed by the order of sandy loam > clay loam > sandy clay loam.
5. In low soil matric potential, percolation of moisture was increased at sandy clay loam and clay loam, the other hand, decreased at sandy loam. The unsaturated hydraulic conductivity data measured by disk infiltrometer explained that organic byproduct fertilizer amendment promoted formation of macropore, and decreased formation of micropore.

CONTENTS

Abstract	2
SUMMARY	12
Chapter 1. Introduction	23
Chapter 2. The chemical properties of commercial organic byproduct fertilizers	26
Section 1. Introduction	26
Section 2. Materials and methods	27
Section 3. Results and discussion	35
1. The histograms of physicochemical properties	35
2. The descriptive statistics of physicochemical properties	35
3. The comparison of mean value of chemical properties of accepted and rejected organic byproduct fertilizer	43
Chapter 3. The chemical properties of organic byproduct fertilizer by composting stage	45
Section 1. Introduction	45
Section 2. Materials and methods	47
Section 3. Results and discussion	51
1. The chemical properties of organic byproduct fertilizer by composting stage	51
2. Tendency index of chemical properties of organic byproduct fertilizers by composting stage	77

Chapter 4. The physical properties of commercial organic byproduct fertilizers and organic byproduct fertilizers by composting stage	82
Section 1. Introduction	82
Section 2. Materials and methods	83
Section 3. Results and discussion	89
1. The physical properties of organic byproduct fertilizer by composting stage	89
A. Viscosity	89
1) The viscosity measured by rotating viscometer	89
2) The viscosity measured by capillary viscometer	94
B. Color	94
1) Relative spectral reflectance	94
2) Munsell notation	99
3) CIE XYZ(Yxy) chromaticity	99
4) CIE Lab chromaticity	104
C. Particle size index	107
D. Particle size weighted bulk density	111
 Chapter 5. The effects of physical properties of soil amended with organic byproduct fertilizers	 118
Section 1. Introduction	118
Section 2. Materials and methods	119
Section 3. Results and discussion	124
1. Saturated hydraulic conductivity	124
2. Unsaturated hydraulic conductivity	131
3. The growth of lettuce in soil amended with organic byproduct fertilizer	140
 Chapter 6. The physical quality criteria proposal for management	

of organic byproduct fertilizers	142
Section 1. Introduction	142
Section 2. The physical quality criteria proposal for management of organic byproduct fertilizers	143
Appendix	149
Reference	172

목 차

요 약 문	2
SUMMARY	12
제 1 장 서 론	23
제 2 장 시판 부산물비료의 화학적 특성	26
제1절 서 설	26
제2절 재료 및 방법	27
1. 공시재료	27
가. 수집	27
나. 분류	27
2. 방법	33
가. 이화학성 분석방법	33
나. 시판 부산물비료의 이화학성 파악	34
제3절 결과 및 고찰	35
1. 이화학 성분별 분포형태 평가	35
2. 이화학 성분별 대표값 평가	35
3. 공정규격 내외 제품의 평균값 비교	43
제 3 장 부산물비료의 부숙화 과정에서의 화학성 변화	45
제1절 서 설	45
제2절 재료 및 방법	47
1. 재료	47
2. 방법	49
가. 이화학성 분석	49
나. 유기물의 추출 및 분획	49
제3절 결과 및 고찰	51
1. 부숙단계별 화학적 특성 변화	51
가. pH	51
나. 전기전도도	53

다. 수분함량	55
라. 암모니아태 질소, 질산태 질소 및 암모니아태 질소대 질산태 질소	59
마. 유기물함량, 전질소 및 유기물대 질소비	63
바. 양이온치환용량	69
사. 부식물질 함량 및 부숙화도 변화	71
2. 부숙화 정도에 따른 이화학적 변화 경향 종합 분석	77
제 4 장 시판 부산물비료 및 부숙단계별	82
제1절 서 설	82
제2절 재료 및 방법	83
1. 재료	83
2. 방법	83
가. 점도	83
1) 회전점도계를 이용한 점도측정	83
2) Ostwald형 모세관점도계를 이용한 상대점도값 측정	83
나. 색도	84
1) 상대분광반사도	85
2) Munsell 표색계로 표현한 색도	86
3) CIE 표색계로 표현한 색도	86
4) 색차(ΔE^*ab)	86
다. 입도지수 측정을 위한 입도분획	87
라. 용적밀도 및 입도가중용적밀도 측정	87
제3절 결과 및 고찰	89
1. 부숙단계별 채취시료의 물리적 특성변화	89
가. 점도	89
1) 회전점도계로 측정한 점도	89
2) 모세관 점도계(capillary viscometer)로 측정한 상대점도	94
나. 색도	94
1) 상대분광반사도	94
2) Munsell 표색계로 표현한 색도	99
3) CIE 표색계로 표현한 색도	99
4) CIE Lab 표색계로 표현한 (ΔE^*ab)	104

다. 입도지수	107
라. 용적밀도 및 입도가중용적밀도	111
제 5 장 부산물비료의 시용이 토양의 물리성에 미치는 영향	118
제1절 서 설	118
제2절 재료 및 방법	119
1. 재료	119
2. 방법	119
가. 포화 수리전도도의 측정	119
1) 부속단계별 포화수리전도도 측정	119
2) 입도분획 시료의 포화 수리전도도 측정	119
나. 불포화 수리전도도의 측정	120
1) 숙성시료의 준비	120
2) 디스크-장력 침투계를 이용한 불포화 수리전도도의 측정	121
3) 용적밀도와 내수성 입단화도의 측정	122
다. 재배실험	122
제3절 결과 및 고찰	124
1. 포화투수계수	124
가. 칼럼층진 방법에 따른 포화수리전도도 차이	124
나. 포화수리전도도에 대한 부속 단계가 다른 부산물비료 시용 효과	126
다. 부산물비료의 입도가 토양의 포화수리전도도에 미치는 영향	128
2. 불포화투수계수	131
가. 부산물비료 시용에 의한 토양의 입단화도와 용적밀도의 변화 ...	131
나. 부산물비료 시용에 따른 불포화 투수계수 변화	134
3. 재배실험	140
제 6 장 부산물비료의 물리성 품질 기준설정에 대한 제안	142
제1절 서 설	142
제2절 부산물 비료의 물리성 품질관리 기준 설정에 대한 제안	143
Appendix	149
引用文獻	172

제 1 장 서 론

우리나라 비료관리법에서 부산물비료(organic byproduct fertilizer)는 농업·임업·축산업·수산업·제조업 또는 판매업을 영위하는 과정에서 나온 부산물, 인분뇨, 음식물류 폐기물, 토양미생물제제, 토양활성제 등 비료성능이 있는 물질로서 농림부장관이 지정하는 것을 말한다' 라고 정의하고 있으며, 비료공정규격에서 부산물비료는 퇴비, 부숙겨, 재, 분뇨잔사, 부엽토, 아미노산발효부산비료, 건계분, 건조축산폐기물, 부숙왕겨 및 톱밥, 토양미생물제제 및 토양활성제제 비료 등으로 분류하고 있어, 퇴비를 부산물비료에 포함시키고 있다.

부산물비료는 토양의 이화학적 성질을 개선하는데 매우 중요한 농업자재이다. 최근 농촌에는 노동력부족과 부산물비료의 원료 확보의 곤란으로 인하여 농가에서의 자급 부산물비료를 생산하기 어려워져 제품화된 부산물비료를 이용하는 농가가 늘고 있다.

더욱이 시설재배나 새로운 농법을 추구하는 농가들을 중심으로 부산물비료 수요가 증가하고 있고, 또한 국가 정책적으로도 농업·임업·축산업 등의 생산활동을 통해 다량으로 배출되는 유기성 부산물을 소각하거나 매립하는 것보다는 비료화하는 것이 경제적이며, 생산물을 재활용함으로써 환경오염을 줄일 수 있다는 이유로 유기성 부산물을 자원화 하려고 노력하고 있어 부산물비료 생산업체 수는 추후 지속적으로 증가할 것이라 생각된다.

부산물비료는 부숙화를 거쳐 생성된 안정화된 부식물질이라 할 수 있다. 부숙화란 인위적으로 조절된 조건에서 호기성 미생물에 의하여 유기물자재 중에 함유된 불안정한 유기물질, 악취성분, 생육저해물질 등이 분해되며, 안정화, 무해화 되는 과정을 말한다. 이러한 부숙화 과정을 거친 부산물비료를 농경지에 부여함으로써 폐기물의 처리와 토양비옥도 증진이라는 두 가지 순기능이 발생되는데 이 중 토양비옥도 증진을 통한 작물생산량 증가는 농업적 측면에서 매우 중요한 기능이다. 즉, 토양에 부산물비료를 투입

하면 미생물과의 상호작용으로 인해 안정화된 입단의 증가, 용적밀도의 감소, 공극율의 증가, 보수력의 증가와 더불어 침식 방지 뿐 만 아니라 유기 오염물질로 오염된 토양의 경우 미생물의 개체군과 활성의 증가로 유기 오염물질의 분해가 향상되는 부가적인 효과를 얻을 수 있다. 그러나 사용 불가능한 재료를 원료로 사용하여 생산된 부산물비료나 미부속된 부산물비료를 경작지에 투입할 경우, 질소고정과 암모니아 독성으로 식물생육을 저해할 뿐 아니라 토양 물리성을 악화시킨다. 따라서 이러한 역기능을 최소화하고 부산물비료의 순기능을 최대화하기 위해서는 부산물비료의 물리·화학성에 대한 지속적인 연구를 통하여 효과적인 품질관리 및 시용에 대한 연구자료가 축적되어야 할 것이다.

우리 나라의 경우 부산물비료 품질관리기준은 비료공정규격에서 유기물(25%이상), 유기물 대 질소 비(50이하), 염분(1.0%이하) 그리고 유해성분의 경우 As(50mg/kg이하), Cd(5mg/kg이하), Hg(2mg/kg이하), Pb(150mg/kg이하), Cr(300mg/kg이하), Cu(500mg/kg이하)와 같이 제한적으로 화학적 특성에 관련된 규정만을 운용하고 있고, 외국의 경우에도 미국의 플로리다주와 프랑스에서만 등급 구분을 위해 부산물비료의 입도(particle size)에 대한 규정을 두고 있을 뿐 물리성과 관련된 기준이 설정되어 있지 않기 때문에 부산물비료에 대한 대부분의 연구가 화학적 특성에 치중되어 있는 실정이다. 특히 토양 물리성과 관련되어 불량 부산물비료의 시용에 의해 발생하는 입단의 파괴와 고결화, 수분보유능과 수리전도도의 악화, 토양침식 유발, 농지의 황폐화 등은 부산물비료의 물리적 특성과 연관된 것으로 추정되나 이에 대한 연구는 미미하다.

본 연구는 부산물 비료의 품질 개선 방향 제시 및 효율적인 이용 방안 마련을 위해 첫째로, 국내에서 각 시도별로 생산판매도 있는 부산물 비료들 중에서 재료 특성과 생산량을 고려하여 선발한 부산물비료를 대상으로 이화학적 특성들과 품질의 연관성을 확인하였다. 둘째로 축산 부산물을 주원료로 하고 부재료와 부속 기간을 달리한 부산물비료를 대상으로 부속화에 따른 이화학적

변화 경향 파악은 물론 색도, 점도, 입도, 가비중 등의 물리성 변화도 아울러 조사함으로써 부속도 판정지표로의 활용 여부를 확인하고자 하였다. 마지막으로 부속 단계별 부산물비료 및 시판 부산물비료를 투여한 토양의 포화 수리전도도를 측정함으로써 부산물비료의 물리성이 포화 수리전도도에 미치는 영향을 파악하고자 하였으며 아울러 시판 부산물비료 시용 후 숙성 (aging)된 토양의 불포화 수리전도도를 측정함으로써 부산물비료 시용에 따른 토양의 물리성 변화 특성을 구명하고자 수행하였다.

제 2 장 시판 부산물비료의 화학적 특성

제1절 서 설

퇴비는 토양관리를 위한 필수 불가결한 농업자재이다. 최근 노동력부족과 퇴비원료 확보의 어려움으로 자급퇴비를 생산하는 농가수는 감소하며 필요한 퇴비를 제품으로 이용하는 농가가 늘고있어 퇴비생산도 아울러 산업화되는 추세이다. 농림부 자료에 의하면 1996년 351개 업체이던 부산물비료 생산등록업체수가 1998년에는 432개(농림부. 비료생산·수입업등록현황 1998. 5. 31일 현재)에 이르렀으며 최근 퇴비를 화학비료의 대체원으로 생각하는 경향이 있어 등록업체수는 추후에도 지속적으로 증가할 것이라 생각된다.

따라서 시판퇴비의 품질현황에 대한 연구자료의 축적은 향후 품질관리방향을 설정하는데 주요한 자료가 될 것으로 생각된다. 현재 관리 감독기관인 농업과학기술원에서 매년 수백 점을 대상으로 유통퇴비의 품질에 관련된 연구결과를 보고하고는 있지만 성분별 대표값을 산술평균값으로만 나타내고 있다. 또한, 전국적으로 생산·판매되고 있는 부산물비료의 물리적 특성을 기초로 한 조사와 분석이 본 연구의 목적에 부합하지만, 부산물비료의 화학적 특성에 중점을 두고 있던 이제까지의 연구결과들은 물론이고, 지표로 활용할 수 있는 적절한 물리적 특성도 제시된 바가 없었기 때문에 수집된 시판 부산물비료들의 화학적 특성을 폭넓고 정밀하게 고찰함으로써, 물리적 특성 조사를 위한 간접적인 지표로 삼기로 하였다.

따라서 본 장에서는 현재 시판되는 부산물비료를 대상으로 물리화학적 항목별로 분포형태를 분석하고 항목별 분석치를 산술평균(mean), 중위수(median) 그리고 가중평균(weighted average)으로 나타내어 비교함으로써 가장 효율적이고 신빙도가 높은 중심점을 파악하는 기초자료를 추출하고자 하였다.

제2절 재료 및 방법

1. 공시재료

가. 수집

각 시·도별 부산물비료 생산업체를 파악한 후, 업체별로 생산하는 비료 종류와 1일 생산능력을 고려하여 전국을 대상으로 나.의 분류별로 가급적 골고루 분산되도록 조절하여, 총 100개 제품의 부산물비료를 수집하였다. 수집은 현장방문을 원칙으로 하였으며 방문수집이 불가능 한 경우 농자재 상에서 구입하였다. 방문 시 원료특성 및 생산공정에 관한 정보도 확보하였다.

나. 분류

수집한 부산물 비료들을 도별, 생산자별, 주원료별, 옌니 사용여부 그리고 1일 생산 가능량 등 5개 항목으로 분류하면 Table 2-1, 2-2, 2-3, 2-4 와 같이 정리할 수 있었다. 또한, Table 2.5는 수집한 부산물비료를 항목별로 나타낸 것이다.

분류항목별 시료 수는, 도별분류에서 강원도 12개, 경기도 18개, 경상남도 15개, 경상북도 10개, 전라남도 10개, 전라북도 11개, 충청남도 15개, 충청북도 6개, 제주도 3개였으며,

주재료별로는 계분을 주재료로 하는 부산물비료는 26개, 돈분 21개, 계분+우분 2개, 계분+돈분 29개, 돈분+우분 5개, 우분 1개였으며, 이외에 수피(樹皮), 부식토, 부숙왕겨, 박류(粕類) 등을 주재료로 한 시료가 16개였으며,

생산자에 따른 분류에서 농협 15개, 영농조합 21개, 축협 3개, 개인기업체에서 생산하는 시료는 61개였다.

수집한 100개 시료 중 옌니를 혼합하여 생산한 시료는 23개였다.

Table 2-1. The classification of organic byproduct fertilizer by province

Province	Kang won	Kyon ggi	Kyong nam	Kyong buk	Jeon nam	Jeon buk	Jeju	Chung nam	Chung buk	Sum
The numbers of sampled organic byproduct fertilizer	12	18	15	10	10	11	3	15	6	100
The numbers of registered producer (%)	29 (6.7)	64 (14.8)	57 (13.2)	74 (17.1)	57 (13.2)	62 (14.3)	10 (2.3)	54 (12.5)	25 (5.8)	432

Table 2-2. The classification of organic byproduct fertilizers by main material.

Manure	Poultry	Pig	Cow	Poultry + cow	Poultry + pig	Pig + cow	Etc.
The numbers of sampled organic byproduct fertilizer	26	21	2	2	29	5	15

Table 2-3. The classification of organic byproduct fertilizer by producer.

Producer	NACF ¹	Agri. Co. Ltd. ²	Livestock Co-op. ³	Private company
The numbers of sampled organic byproduct fertilizer	15	21	3	61

¹NACF: National Agricultural Cooperative Federation, ²Agri. Co. Ltd.: Agricultural Cooperatives Ltd., ³Livestock Co-op.: Livestock Cooperatives.

Table 2-4. The classification of organic byproduct fertilizer by use or not-use of sludge waste.

	Use	Not-use
The numbers of sampled organic byproduct fertilizer	25	75

Table 2-5. Information of organic byproduct fertilizers used
in this experiment

No.	Main material	Sludge	Producibility (ton/day)	Producer	Province
1	Cow	-	16	Agri. Co., Ltd. ¹	Kyongbuk
2	Pig	-	Unknown	Private company	Kyonggi
3	Pig	-	Unknown	Private company	Kangwon
4	Pig	-	Unknown	Private company	Jeonbuk
5	Pig	-	10	Private company	Kyonggi
6	Pig	-	20	Agri. Co., Ltd.	Kyungnam
7	Pig	-	8	Agri. Co., Ltd.	Jeju
8	Pig	-	15	NACF ²	Chungnam
9	Pig	-	32	NACF	Kyonggi
10	Pig	-	30	NACF	Kangwon
11	Pig	-	24	Agri. Co., Ltd.	Jeonnam
12	Pig	-	20	Livestock Co-op. ³	Jeju
13	Pig	-	24	Livestock Co-op.	Chungnam
14	Pig	-	60	Private company	Kangwon
15	Pig	-	20	Agri. Co., Ltd.	Kyonggi
16	Pig	-	26	NACF	Chungnam
17	Pig	-	23	Agri. Co., Ltd.	Jeonnam
18	Pig	-	8	Livestock Co-op.	Jeju
19	Pig	-	15	Private company	Jeonbuk
20	Pig	-	30	NACF	Jeonbuk
21	Pig	Mixed	28	Private company	Chungnam
22	Pig	Mixed	40	Private company	Kangwon
23	Pig+Cow	-	30	NACF	Chungnam
24	Pig+Cow	-	15	Private company	Kyungnam
25	Pig+Cow	-	27	NACF	Kyonggi
26	Pig+Cow	Mixed	14	NACF	Kyungnam
27	Pig+Cow	Mixed	3	Private company	Kyungnam
28	Poultry	-	Unknown	Private company	Kangwon
29	Poultry	-	30	Agri. Co., Ltd.	Kangwon
30	Poultry	-	10	Private company	Jeonbuk
31	Poultry	-	24	NACF	Jeonnam
32	Poultry	-	Unknown	Private company	Kyonggi
33	Poultry	-	10	Agri. Co., Ltd.	Jeonbuk

¹Agri. Co., Ltd.: Agricultural cooperatives ltd., ²NACF: National Agricultural Cooperative Federation., ³Livestock Co-op.: Livestock cooperatives.

Table 2-5. Continued

No.	Main material	Sludge	Producibility (ton/day)	Producer	Province
34	Poultry	-	20	Private company	Kyonggi
35	Poultry	-	24	Private company	Jeonnam
36	Poultry	-	40	Private company	Chungnam
37	Poultry	-	Unknown	Private company	Kangwon
38	Poultry	-	60	Agri. Co., Ltd.	Kyongbuk
39	Poultry	-	20	Agri. Co., Ltd.	Jeonbuk
40	Poultry	-	24	Agri. Co., Ltd.	Jeonnam
41	Poultry	-	24	Private company	Kyongbuk
42	Poultry	-	3	Private company	Kyonggi
43	Poultry	-	13	Private company	Chungbuk
44	Poultry	-	6	Private company	Kyonggi
45	Poultry	-	10	Private company	Kyonggi
46	Poultry	-	Unknown	Private company	Kyongbuk
47	Poultry	Mixed	10	Private company	Kyungnam
48	Poultry	Mixed	40	Private company	Kyonggi
49	Poultry	Mixed	20	Private company	Kyongbuk
50	Poultry	Mixed	20	Private company	Jeonbuk
51	Poultry	Mixed	30	Private company	Jeonbuk
52	Poultry	Mixed	Unknown	Private company	Kangwon
53	Poultry	Mixed	25	Private company	Chungbuk
54	Poultry+Cow	-	40	Private company	Kyongbuk
55	Poultry+Cow	-	32	Agri. Co., Ltd.	Kyongbuk
56	Poultry+Pig	-	36	Private company	Chungbuk
57	Poultry+Pig	-	10	Private company	Chungnam
58	Poultry+Pig	-	35	Private company	Chungnam
59	Poultry+Pig	-	40	Agri. Co., Ltd.	Kyungnam
60	Poultry+Pig	-	6	Private company	Kyonggi
61	Poultry+Pig	-	16	NACF	Jeonnam
62	Poultry+Pig	-	60	Agri. Co., Ltd.	Kyonggi
63	Poultry+Pig	-	13	NACF	Chungnam
64	Poultry+Pig	-	5	Private company	Kyungnam
65	Poultry+Pig	-	7	Private company	Kyungnam
66	Poultry+Pig	-	32	Private company	Jeonnam
67	Poultry+Pig	-	38	Private company	Chungnam
68	Poultry+Pig	-	30	NACF	Kangwon

¹Agri. Co., Ltd.: Agricultural cooperatives ltd., ²NACF: National Agricultural Cooperative Federation., ³Livestock Co-op.: Livestock cooperatives.

Table 2-5. Continued

No.	Main material	Sludge	Producibility (ton/day)	Producer	Province
69	Poultry+Pig	-	20	NACF	Jeonbuk
70	Poultry+Pig	-	35	Agri. Co., Ltd.	Kyungnam
71	Poultry+Pig	-	30	NACF	Jeonbuk
72	Poultry+Pig	-	24	Agri. Co., Ltd.	Jeonnam
73	Poultry+Pig	-	11	Private company	Kyongbuk
74	Poultry+Pig	-	3	Private company	Kyungnam
75	Poultry+Pig	-	32	Agri. Co., Ltd.	Chungnam
76	Poultry+Pig	-	10	Private company	Jeonnam
77	Poultry+Pig	Mixed	40	Private company	Chungnam
78	Poultry+Pig	Mixed	60	Private company	Chungbuk
79	Poultry+Pig	Mixed	10	Private company	Jeonbuk
80	Poultry+Pig	Mixed	24	Private company	Chungnam
81	Poultry+Pig	Mixed	6	Private company	Kyonggi
82	Poultry+Pig	Mixed	42	Agri. Co., Ltd.	Kyonggi
83	Poultry+Pig	Mixed	20	Agri. Co., Ltd.	Kyungnam
84	Poultry+Pig	Mixed	16	Agri. Co., Ltd.	Kangwon
85	chaff	-	6	NACF	Kangwon
86	Saw dust+ plant residuum	-	6	Agri. Co., Ltd.	Chungbuk
87	peat+saw dust	-	14	Private company	Kangwon
88	Saw dust+ organic wastes	-	64	Private company	Chungnam
89	bark+dregs	-	32	Private company	Kyongbuk
90	bark+animal residuum	-	10	Private company	Kyungnam
91	peat+dregs	-	4	Private company	Kyonggi
92	bark	-	20	Private company	Kyonggi
93	saw dust+ livestock wastes	-	6	Private company	Jeonnam
94	bark	-	5	Private company	Chungbuk
95	bark	-	4	Private company	Kyungnam
96	saw dust+ dregs of oil	-	40	Private company	Kyongbuk
97	saw dust+ plant residuum	Mixed	6	Private company	Chungnam
98	sludge	Mixed	60	Private company	Kyonggi
99	saw dust+ organic wastes	Mixed	4	Private company	Kyungnam
100	saw dust+dregs	Mixed	15	Private company	Kyungnam

¹Agri. Co., Ltd.: Agricultural cooperatives ltd., ²NACF: National Agricultural Cooperative Federation., ³Livestock Co-op.: Livestock cooperatives.

2. 방법

가. 이화학성 분석방법

치환성 염기(Na, K, Ca, Mg), 중금속(Cu, Cd, Cr, Mn, Pb, Zn), 유기물 함량, 총질소함량, 유기물 대 질소비, pH, 수분함량, 양이온치환용량, 전기전도도, 암모니아태 질소, 질산태 질소, 암모니아태질소 대 질산태질소 비 등을 분석하였다.

모든 항목의 분석은 토양화학분석법(농업과학기술원, 1988)과 비료의 품질검사방법 및 시료채취 기준(농업과학기술원, 1996)에 준하여 분석하였으며, 각 성분별 분석값은 모든 시료를 항목별 3반복으로 분석하여 그 평균값을 취하였다.

치환성염기는 1N-Ammonium acetate(pH 7.0)로 치환침출하여 원자흡광광도계로 정량하였으며, 중금속은 ternary solution($\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{SO}_4:\text{HClO}_4=10:1:4$)으로 습식 분해한 후 유도결합플라즈마 분광광도계(ICP)로 정량하였다.

유기물함량은 전기회화로($420\sim 450^\circ\text{C}$)에서 2시간 가열한 후 작열손실량으로 정량하였으며, 총질소함량은 Kjeldahl 법으로, pH는 시료와 증류수를 1:10(w/w)으로 하여 측정하였으며, 수분함량은 건조중량법으로 정량하였다.

양이온치환용량은 토양의 양이온치환용량 측정에 일반적으로 이용되는 1N- NH_4OAc (pH 7.0)에 의한 치환침출법 대신 BaCl_2 에 의한 치환침출법으로 측정하였는데, 1N- NH_4OAc (pH 7.0)에 의한 치환침출법을 이용할 경우 NH_4OAc 용액과 세척 시 사용하는 에틸알코올에 의해서 유기물이 용해되며, 가수분해에 의해 실제 양이온치환용량 값보다 낮아지기 때문이다. 분석방법은 1mm로 분쇄한 시료 일정량에 0.05N-HCl 용액 25ml를 첨가한 후 20분 경과한 다음 여과하고, 위 방법을 다시 반복한 후 증류수 150ml로 충분히 세척하였다. 세척한 시료에 pH 7.0인 1N- $\text{Ba}(\text{OAc})_2$ 15ml를 첨가하여 1일간 방치한 후 페놀프탈레인을 지시약으로 하여 0.05N-NaOH(pH 8.9)로 적정하

여 측정하였다(Harada and Inoko, 1980). 위 방법에서 염산 용액은 H⁺으로 퇴비 중 함유된 양이온을 치환하고, BaCl₂ 용액은 퇴비 중의 카르복실기와 페놀수산화기와 같은 양이온치환 부위로부터 H⁺의 방출에 이용된다. 전기 전도도는 시료와 증류수를 1:10(w/w)으로 하여 Conductivity meter로 측정하였으며, 총질소는 Kjeldahl 법으로 분석하였다. 암모니아태 질소는 부산 물비료 약 5g을 KCl로 포화시킨 후 평형에 도달하면 여과해서 여액을 받고, 여액의 일정량을 취하여 MgO로 알카리 조건을 만든 후 킬달증류해서 암모니아태 질소를 수기(H₃BO₃)에 포집한 후 황산표준용액으로 적정하였다. 킬달증류 후 남은 여액에 설파민산을 2ml 정도 넣고 흔들어서 아질산태 질소를 제거하고 데바다 합금을 가한 후 킬달 증류해서 질산태질소를 수기에 포집하였다. 포집한 용액은 모두 황산표준용액으로 적정하였다(적정점 pH 4.5).

나. 시판 부산물비료의 이화학적 파악

항목별 분석 값들의 도수분포도를 이용하여 각 항목의 분포특성을 살폈다. 수집시료를 전체시료, 성분별, 생산자별, 폐수처리오니 사용여부별, 주원료별로 각각 구분한 후 항목별 분석치를 산술평균(mean), 중위수(median) 그리고 가중평균(weighted average)으로 나타내었다. 이때 가중평균값을 구하는 가중치는 Table 2.5에 나타난 생산업체별 1일 생산가능량(ton/day)을 이용하였다. 가중치와 가중평균값을 구한 식은 아래와 같다.

$$\text{가중치} = A \text{ 시료의 측정값} \times \frac{A \text{ 시료 생산업체의 1일 생산가능량}}{\text{전체시료의 1일 생산가능량}} \quad \text{식 2-1}$$

$$\text{가중평균} = \text{각 시료의 가중치의 합} \quad \text{식 2-2}$$

제3절 결과 및 고찰

1. 이화학 성분별 분포형태 평가

시판 부산물비료의 중금속함량 및 물리·화학생분 분석결과는 Appendix I, II에 나타내었으며, 각 화학성분별 값의 도수분포도는 Fig. 2-1, 2-2와 같다. 중금속과 유기물함량, 유기물대 질소, 그리고 암모니아태질소 대 질산태질소의 분포형태는 왼쪽으로 편포(偏布; skewed distribution)된 형태를 보였으며, 이들 중 Mn과 Zn을 제외한 Cd, Pb, Cu, Cr, 및 암모니아태 질소대 질산태질소비는 극편포(極偏布)를 나타냈다.

이러한 도수분포는 부산물비료 대부분은 중금속 함량이 비교적 낮았으나 몇몇 부산물비료들에서 함량이 높았음을 보여주는 것으로, 중금속의 경우 Cd, Pb, Cu, Cr 등의 포함될 수 있는 원료나 산업폐기물이 혼입된 제품 그리고 암모니아태질소 대 질산태질소 비의 경우 미부속된 제품이 시판되고 있음을 나타낸 것이라고 보여진다.

2. 이화학 성분별 대표값 평가

시판 부산물비료의 이화학 성분별 중심점을 산술평균(mean), 중위수(median), 가중평균(weighted average)으로 표현한 결과는 Table 2-6과 같았으며, Table 2-7, 2-8, 2-9는 각각 수집된 부산물비료를 주원료별, 생산자별 그리고 폐수처리 오니 사용여부별로 구분한 후 성분별로 중심점을 비교하여 나타낸 것이다.

Table 2-6에서 시판 부산물비료의 물리·화학생분별 중심점은 수분함량을 제외한 모든 분석항목에서 중위수가 산술평균보다 낮았는데, 이러한 결과는 최종 제품 생산 과정에서 제품의 품질이 부산물비료의 부적절한 원재료의 사용에 크게 영향을 받기 때문으로 보여진다. 특히 Cr의 산술평균값과 중위수는 각각 281ppm, 38ppm을 보여 매우 큰 차이를 보였으며 산술평균값의 경우 농림부에서 고시한 Cr의 부산물비료 공정규격인 300ppm에 이르

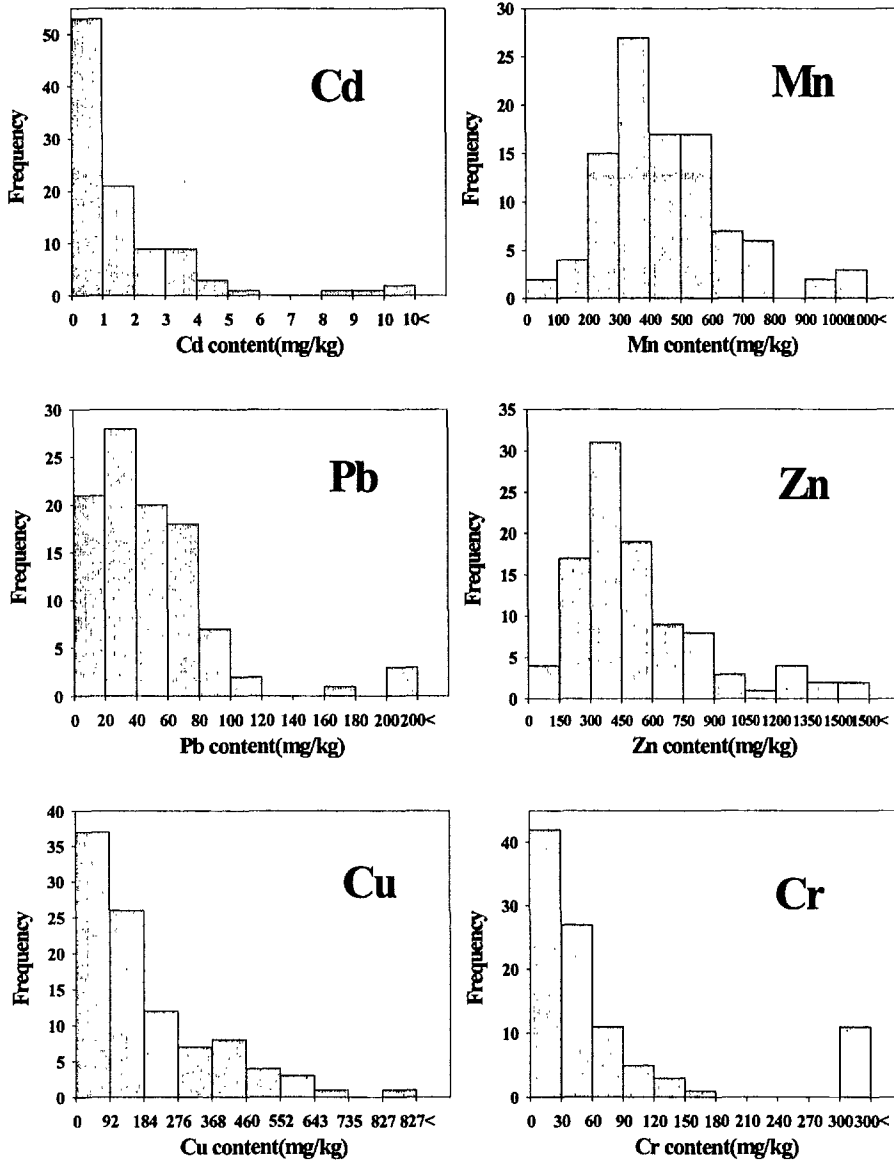


Fig. 2-1. The histograms for heavy metal contents in commercial organic byproduct fertilizers.

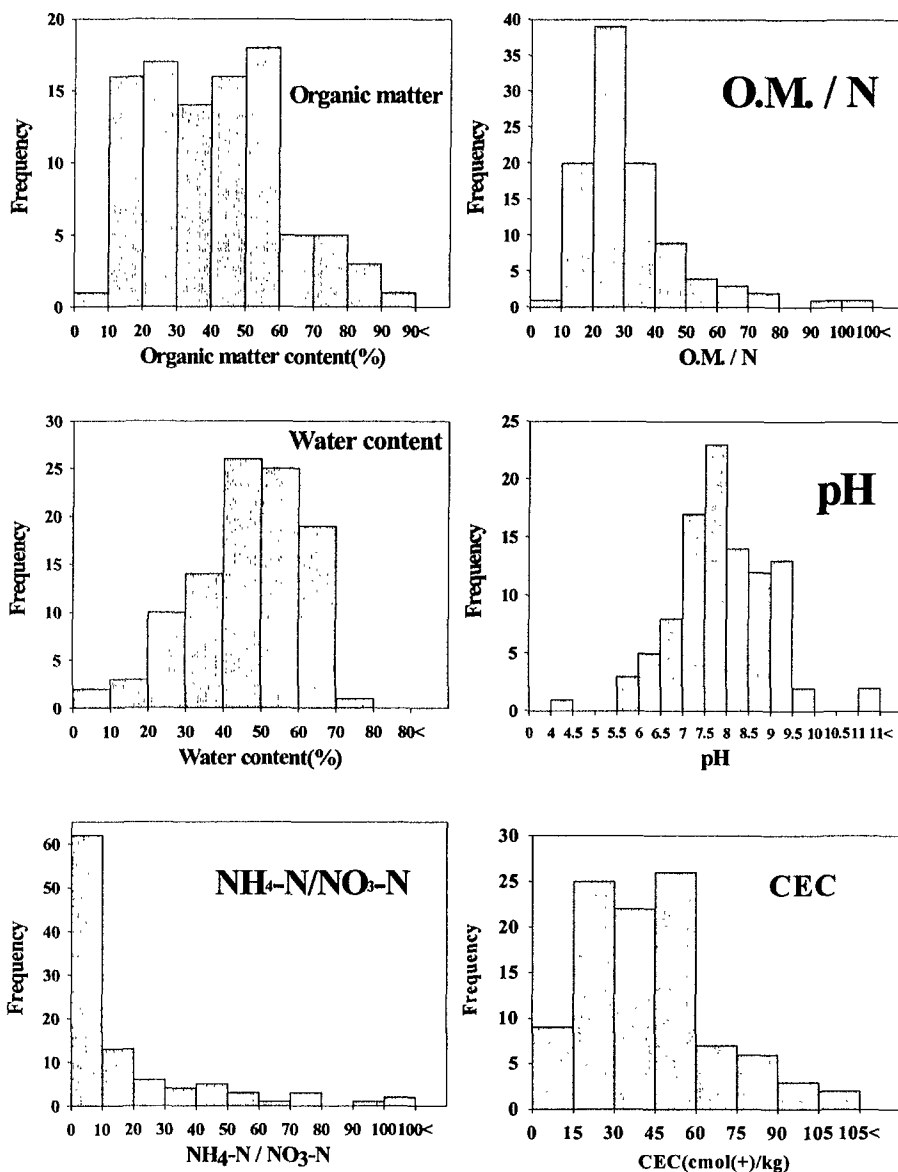


Fig. 2-2. The histograms for physico-chemical properties of commercial organic byproduct fertilizers.

Table 2-6. Descriptive statistics of chemical properties of organic byproduct fertilizers

	Cu	Cd	Cr	Mn	Pb	Zn	pH	W.C ²	CEC	EC	OM	OM/N	NH ₄ ⁺ /NO ₃ ⁻
	mg/kg							%	cmol ⁺ /kg	dS/m	%		
Mean	193	1.52	291	463	54.5	541	7.91	46.0	44.0	3.83	48.4	30.9	14.0
Median	122	0.76	38	401	44.8	440	7.84	47.8	41.9	3.37	48.7	25.8	3.8
W.A ¹	198	1.50	243	469	55.8	548	8.04	46.3	45.6	3.95	51.2	32.6	14.5

¹W.A: Weighted Average, ²W.C: Water Content.

Table 2-7. Descriptive statistics of chemical properties of samples classified by main materials

		Cu	Cd	Cr	Mn	Pb	Zn	pH	W.C ²	CEC	EC	OM	OM/N	NH ₄ ⁺ /NO ₃ ⁻
		mg/kg							%	cmol ⁺ /kg	dS/m	%		
Poultry manure	Mean	106	1.06	466	378	42.2	384	8.10	45.3	45.3	3.68	45.2	31.7	13.7
	Median	70	0.46	27	370	45.4	372	7.90	46.4	41.7	2.92	46.8	25.4	1.6
	W.A ¹	118	1.10	517	369	47.0	378	8.50	46.6	45.0	3.42	43.4	32.4	13.3
Poultry manure + Pig manure	Mean	186	1.61	113	463	53.6	571	7.98	48.3	38.1	3.85	50.9	27.9	18.6
	Median	146	1.04	43	410	46.8	503	7.92	50.8	37.9	3.80	51.0	26.1	9.3
	W.A	176	1.72	136	483	57.9	575	7.81	45.8	39.4	4.04	52.9	28.1	16.3
Pig manure	Mean	348	1.45	31	358	51.7	674	8.07	51.7	53.0	4.09	61.2	32.0	12.2
	Median	327	0.60	20	357	27.8	562	8.09	52.2	50.9	3.86	65.0	29.7	5.8
	W.A	320	1.48	28	355	52.2	643	8.16	53.7	51.4	3.97	64.1	36.6	10.8
Others	Mean	127	1.55	744	699	81.4	500	7.29	37.4	36.3	2.79	37.8	39.2	11.6
	Median	70	0.44	78	667	67.3	420	7.53	38.4	39.5	2.82	30.8	24.6	3.6
	W.A	163	1.17	404	772	77.0	508	7.68	39.3	39.7	3.16	44.6	44.4	22.7

¹W.A: Weighted Average, ²W.C: Water Content.

Table 2-8. Descriptive statistics of chemical properties of samples classified by producers

		Cu	Cd	Cr	Mn	Pb	Zn	pH	W.C ³	CEC	EC	OM	OM/N	NH ₄ ⁺ /NO ₃ ⁻
		mg/kg							%	cmol ⁺ /kg	dS/m	%		
NACF ¹ & Livestock	Mean	347	1.96	29	463	27.6	749	8.39	46.3	42.6	4.22	61.0	31.9	13.9
	Median	327	0.81	19	501	22.8	744	8.31	48.9	44.1	4.08	62.8	30.7	6.6
Cooperatives Ltd.	W.A ²	378	2.37	23	469	31.0	836	8.46	47.9	43.7	4.39	60.9	29.9	13.0
Agricultural Cooperatives	Mean	208	1.22	99	399	57.6	540	7.90	44.2	50.8	4.24	47.2	27.0	15.5
	Median	147	0.33	18	349	37.6	460	7.92	47.2	43.9	3.91	45.8	24.7	9.5
	W.A	186	1.16	128	409	57.3	497	8.06	44.6	46.4	4.01	47.9	27.0	16.5
Private	Mean	135	1.48	455	488	62.4	471	7.76	46.6	41.8	3.53	44.5	32.1	13.4
	Median	93	0.91	53	401	49.4	415	7.71	47.0	34.4	3.12	46.7	25.6	2.0
	W.A	141	1.36	378	498	63.9	472	7.88	46.7	45.9	3.77	49.4	36.3	14.0

¹NACF: National Agricultural Cooperative Federation, ²W.A: Weighted Average, ³W.C: Water Content.

Table 2-9. Descriptive statistics of chemical properties of organic byproduct fertilizers mixed with and without sludge

		Cu	Cd	Cr	Mn	Pb	Zn	pH	W.C ²	CEC	EC	OM	OM/N	NH ₄ ⁺ /NO ₃ ⁻
		mg/kg							%	cmol ⁺ /kg	dS/m	%		
	Mean	143	1.56	614	466	61.4	476	8.08	44.9	43.4	3.27	47.1	31.4	13.9
Sludge	Median	122	0.76	43	391	48.5	435	7.72	47.0	37.9	2.92	50.6	26.0	4.2
	W.A ¹	169	1.62	543	452	59.3	517	8.26	44.2	49.9	3.81	53.1	31.0	17.8
	Mean	210	1.50	183	462	52.2	563	7.86	46.3	44.2	4.02	48.8	30.7	14.0
Non sludge	Median	121	0.75	34	440	39.0	448	7.92	48.3	42.6	3.58	47.3	25.7	3.5
	W.A	208	1.45	130	475	54.6	560	7.95	47.2	44.0	4.01	50.5	33.1	13.2

¹W.A: Weighted Average, ²W.C: Water Content.

는 값이었으나 극편포를 보여 중위수는 공정규격인 300ppm과 큰 차이를 보였다. Cr 함량이 높게 나타난 것은 시판되는 부산물 비료 중에 크롬 함량이 높은 연료를 이용하는 피혁공장의 오니를 포함하는 불법폐기물이 원료로 사용되었을 가능성이 높음을 의미한다고 생각된다. 시판 부산물비료 품목의 생산량을 가중치로 하여 구한 가중평균값은 수분함량을 제외한 모든 항목에서 중위수보다 높았으며, 특히 중금속 성분 중 Cu, Mn, Pb 그리고 Zn 에서는 산술평균값보다 높게 나타났는데 이는 중금속함량이 높은 부산물비료를 생산하는 업체의 생산량이 상대적으로 높다는 것을 의미하는 것으로서 품질관리에 보다 많은 주의를 기해야 할 것으로 생각된다.

Table 2-7은 주원료에 따라 구분하여 성분별 중심점을 비교한 결과로서, 돈분을 원료로 제조한 부산물비료에서의 Cu함량이 높았는데 이는 돼지 사육에 Cu가 함유된 생육촉진제를 사용하기 때문으로 생각된다.

이러한 결과는 돈분에서의 Cu함량이 일반 산업폐기물 보다 높게 나타났다는 정(1995)의 연구결과와도 일치하는 것이다. 결국 생육촉진제로 이용되는 Cu함량을 줄이거나 대체하는 노력 없이는 돈분뇨를 부산물비료제조의 원료로 사용하는데 있어서 Cu가 제한 요인으로 작용할 것으로 생각된다.

Table 2-8에서 Cu의 경우 개인업체에서 생산된 부산물비료제품에 비해 조합제품에서 그 함량이 높게 나타났는데 이는 대부분의 조합에서 부산물비료의 주원료로서 돈분을 사용하였으며 위에서 언급하였듯이 Cu가 생육촉진제로 첨가되었기 때문으로 생각된다. 또한 Cr의 산술평균값이 농축협이나 영농조합에서 생산된 부산물비료에 비해 개인기업체제품에서 매우 높았는데 이는 일부의 생산업체가 불법폐기물을 혼입하여 부산물비료를 생산하였기 때문으로 해석된다.

Table 2-9는 재료로서 부산물비료의 원료로 사용이 가능한 폐수처리오니의 사용 여부에 따른 부산물비료의 이화학성에 대한 결과이다.

조사 항목 중 Cu의 경우 오니 미사용업체에서 높게 났는데 이는 오니사용에 따른 결과라기보다는 돈분을 주원료로 사용한 업체가 오니사용업체보

다 상대적으로 많았기 때문으로 생각된다.

Cr의 경우 오니사용업체에서 매우 높게 나타났는데 이는 위에서 언급하였듯이 각 업체가 원료로 이용한 폐수처리오니는 사전에 성분검사가 이루어져 사용 가능한 원료로 지정된 것이고 특히 Cr함량이 높은 피혁폐수처리 오니는 사용 불가능한 원료로 분류되어 있기 때문에 오니사용에 따른 문제라고는 보아지지는 않으며 Cr함량이 높은 부산물비료를 생산한 업체가 오니사용업체로 분류되었기 때문으로 생각된다.

3. 공정규격 내외 제품의 평균값 비교

우리 나라에서 부산물비료의 공정규격으로 정해진 6개 화학성분별로 전체시료, 공정규격내 제품(적격품), 그리고 공정규격외 제품(부적격품)의 산술평균값을 비교한 결과는 Table 2-10과 같다.

각 항목별로 공정 규격을 만족시키는 제품의 비율은 다르게 나타났으며 특히 Cr과 유기물대 질소 비의 부적격율이 높았다. 그러나 부적격율과는 별도로 적격한 제품들과 부적격 제품들간의 값을 비교해 보면 유기물대 질소비의 차이는 작았으나 중금속 함량의 경우는 큰 차이를 나타냈다. 이러한 결과는 원재료에 들어있는 중금속의 경우 제조 공정 중 부속에 따른 변화가 일어나지 않기 때문이다. 항목별 부적격율은 4~11%의 범위로 나타나 농업과학기술원에서 매년 발표하는 부적격률(평균 10% 정도)(정, 1995)과 유사하였다. 그러나 적격품의 평균에 비해 부적격품의 평균이 유기물함량은 2.4배, 유기물대 질소비는 2.5배, Cd은 8.1배, Cr은 52배, Cu는 4.1배 그리고 Pb는 7.2배 높게 났다.

특히 Cr의 경우 적격품(89개 시료)의 평균이 부적격률 11%에 해당하는 11개 시료의 영향으로 전체시료의 평균값이 42mg/kg에서 공정규격 기준에 근사하는 291mg/kg의 값을 보였다. 이는 품질관리의 필요성을 극명하게 보여주는 예라고 생각된다.

Table 2-10. Mean values of chemical properties of total, acceptance, and rejected samples

Official standard	Mean value of total samples	Mean value of acceptance samples	Mean value of rejected samples	Rejection rate(%)
OM (25% and over)	48.4	50.2	21.0	7
OM, /N (50% and below)	30.9	26.5	69.7	10
Cd (5mg/kg and below)	1.52	1.14	9.25	5
Cr (300mg/kg and below)	291	42	2213	11
Cu (500mg/kg and below)	193	156	649	7
Pb (150mg/kg and below)	55	43	301	4

제 3 장 부산물비료의 부숙화 과정에서의 화학성 변화

제1절 서 설

농업에서 부산물비료(퇴비)는 농경지의 지력을 보전하고 양질의 농산물을 생산하기 위한 목적으로 사용된다. 그러나 적절한 원료선택과 퇴비제조 과정을 거치지 않을 경우 심각한 농경지 오염과 작물의 생육장애를 초래할 수 있기 때문에 퇴비의 품질관리는 필수적이다. 아주 다양한 원료들을 재료로 하는 부산물비료는 그 제조공정도 매우 다양하기 때문에, 품질관리에 많은 어려움이 있다. 이러한 어려움 때문에 비료공정규격도 주로 화학적 기준만을 운용하고 있는 실정이며, 따라서 부산물비료의 품질관리와 관련된 연구도 퇴비 주원료와 부재료(수분조절제) 및 생산완제품의 이화학성에 초점이 맞추어져 있다. 이런 현실은 자연스럽게 다양한 원료와 생산공정에 따른 부산물비료의 물리적 특성과 화학적 특성의 변화과정을 추적 평가하는 연구가 많지 않게 만들었다. 지금까지 국내에서의 부산물비료 또는 퇴비의 부숙화에 관련한 물리적 특성에 대한 조사는 색깔 등에 한정되어 있는 등 그 폭과 깊이가 만족스럽지 못하다.

부산물비료를 사용한 농경지에서 나타나는 문제점들 중에는 이미 앞장들에서 지적한 바와 같이 토양의 물리적 성질이 악화되는 현상이 포함되어 있기 때문에, 이러한 문제를 해결하기 위해서는 토양 물리성 악화를 가져오는 원인이 되는 부산물 비료의 물리적 화학적 특성에 대한 규명이 반드시 필요하다.

따라서 본 연구에서는 현재까지 부산물 비료의 원료로 많이 사용되고 있으며, 유기물 함량과 비료가치가 높고 입자의 규격이 일정하여 앞으로 우리 나라 퇴비산업의 주체가 될 가축분을 주원료로 하고, 부재료와 부숙

기간을 달리하여 퇴비를 생산하는 생산업체를 선정하여 각각의 부숙공정에서 부숙과정의 진행정도에 따른 시료를 채취하고 그 시료들을 대상으로 물리적 성질과 화학적 성질들을 면밀히 비교·분석·검토하여 부산물 비료의 속성에 따른 물리적 성질의 변화와 화학성 변화와의 관계를 살펴보고자 하였다.

제2절 재료 및 방법

1. 재료

수집한 시판 부산물비료 100개 제품을 대상으로 원료(주재료와 부재료), 배합비 그리고 부숙기간에서 대표성을 띄는 7개 제품을 생산하는 업체를 선정 한 후, 현장 방문하여 각 업체별로 발효조 길이를 11등분하고 등분한 지점에서 채취한 11개 시료를 그 제품의 부숙단계별 시료로 하였다. 공시제품의 원료특성 및 부숙기간 그리고 발효조 길이는 Table 3-1에 나타내었다. 부숙단계별 채취시료는 풍건·파쇄하여 2mm체를 통과한 것을 공시시료로 사용하였다.

Table 3-1. The raw materials of organic byproduct fertilizers and its composting conditions

Sample	Materials(V:V)	Composting	Fermenter
		period	length
		day	m
COM ¹ 1	P.M(50) + Chaff(50)	90	50
COM 2	P.M(50) + Livestock waste(25) + Sawdust(25)	40	70
COM 3	P.M ² (25) + Po.M ³ (25) + Chaff(50)	30	100
COM 4	Po.M(20) + P.M(20) + Sawdust(30) + Bark(10) + Live stock waste(20)	45	70
COM 5	Po.M(20) + P.M(10) + Sawdust(15) + Others ⁴ (55)	30	40
COM 6	P.M(60) + C.M ⁵ (10) + Sawdust(30)	25	65
COM 7	Po.M(70) + Sawdust(30) + Zeolite(trace)	40	50

¹COM: organic byproduct fertilizer, ²P.M: Pig Manure, ³Po.M: Poultry Manure, ⁴Others: dregs of oil and lees, ⁵C.M: Cow Manure.

2. 방법

가. 이화학성 분석

분석항목은 pH, 전기전도도, 수분함량, 암모니아태 질소, 질산태 질소, 암모니아태질소 대 질산태질소 비, 유기물함량, 총 질소함량, 유기물 대 질소 비, 양이온치환용량 등이었으며 분석방법은 제 2장과 동일하였다.

나. 유기물의 추출 및 분석

부속단계별 풍건시료 일정량을 원심분리관에 넣은 후 여기에 0.5N NaOH를 1:4(w/v)의 비율이 되게 가하고, 순수한 질소가스로 원심분리관을 충전시킨 후 마개를 막고 24시간 동안 진탕시켰다. 9,000×g 에서 15분 동안 원심 분리하여 상징액을 수거한 후 위의 조작을 1회 더 반복하였다. 분리한 80ml 용액을 6M 염산을 가하여 pH를 1.5로 조정하였다. 이 때 산에 불용성인 부식산은 침전을 형성하기 때문에, 이를 48시간 정치 후 9,000×g 로 15분간 원심 분리하여 상징액에 포함된 폴브산을 침전물과 분리하였다. 침전을 형성한 부식산은 증류수 40ml와 NaOH 10ml을 가하여 녹인 후 유기탄소측정을 위해 보관하였다(Hayes, 1985). 휴민은 처음 NaOH로 두 번 녹인 후 남은 시료에 증류수를 100ml 가하여 3분간 3회 초음파 처리한 후 원심 분리하여 취한 상징액을 유기탄소 측정 시료로 하였다. 위의 과정에서 분리된 부식산, 폴브산, 휴민 각각의 시료 3ml을 삼각플라스크에 넣은 후 후드에서 0.4N $K_2Cr_2O_7$ 10ml을 첨가하고, 알루미늄 호일로 삼각플라스크를 밀봉한 후 전열판에서 약 200℃로 7분간 가열하였다. 이를 약 10간 정치시켜 식힌 후 증류수를 100~150ml 첨가하였으며 85% H_3PO_4 10ml과 소량의 지시약(diphenylamine)을 첨가하였다. 이를 0.2N $FeSO_4(NH_4)_2SO_4$ 로 적정하여 검은 주황색이 남청색을 거쳐 담록색이 될 때까지 적정하여 정량하였다. 정량한 폴브산과 부식산의 함량을 이용하여 아래 식 2-1의 부식화도(humification index, HI)와 식 2-2의 부식화률(humification ratio, HR)

을 계산, 이를 부산물비료의 부숙도 자료로 활용하였다(Inbar *et al* 1990).

$$\text{부식화도} = \frac{\text{부식산}}{\text{부식산} + \text{폴브산}} \quad \text{식 2-1}$$

$$\text{부식화률} = \frac{\text{부식산}}{\text{폴브산}} \quad \text{식 2-2}$$

제3절 결과 및 고찰

1. 부숙단계별 화학적 특성 변화

가. pH

부숙 기간을 달리하여 채취한 공시시료의 pH 변화를 보면 부숙 후기의 pH 값은 모든 제품에서 pH 7~8범위에 존재하였으나 부숙 단계별 pH 변화 양상은 제품에 따라 차이를 보였다(Fig. 3-1). 본 실험의 재료가 된 시료들의 부숙에 따른 pH의 변화에서는 통일된 경향성을 찾아볼 수는 없었다. 즉 com1, com6에서는 pH가 증가하는 경향이 뚜렷하였지만, 그 외의 시료들은 pH의 증가나 감소경향이 있다고 보기는 어려웠다. 시료에 따른 초기 pH 값의 차이는 원재료의 차이에 기인하나 부숙화 과정에서 나타나는 차이는 제품별 교반 횟수와 교반 방법의 차이에 기인한 것이라 생각된다. 본 실험에서 사용된 모든 공시제품의 부숙과정에서는 발효조 내부에 교반기를 설치하여 일정기간마다 부산물비료를 뒤집어주며 부산물비료를 이동시키는 직선 교반식 부숙공정을 채택하고 있기 때문에, 주어진 부숙 기간 내에 총 발효조 길이 만큼을 이동하려면 교반 횟수의 차이가 날 수 밖에 없다. 따라서 교반에 따른 부산물 비료단의 온도변화와 통기 정도가 결국 미생물 종류와 활성에 영향을 주어 제품별 pH 변화 양상에 차이를 보였을 것이라 생각된다.

pH는 미생물의 생육이나 부숙화 과정 중의 물질변화에 영향을 미치는 중요한 요인이고, 대부분의 부산물비료에서 부숙화에 따른 pH의 변화는 초기에 유기산 등의 방출로 인하여 감소하였다가 호기성조건이 안정화되면 미생물의 활성으로 인한 NH_4^+ 발생으로 pH가 상승하다가 부숙 후기에는 NO_3^- -N의 증가와 더불어 pH가 중성 범위 내에서 안정화되는 것으로 알려져 있고(손 등, 1996; 장, 1995), 일반적으로 부숙화에 적합한 pH 범위는 6.5~8.0 정도라고 알려져 있는데(정, 1995), 본 연구의 대상이 된 부산물비

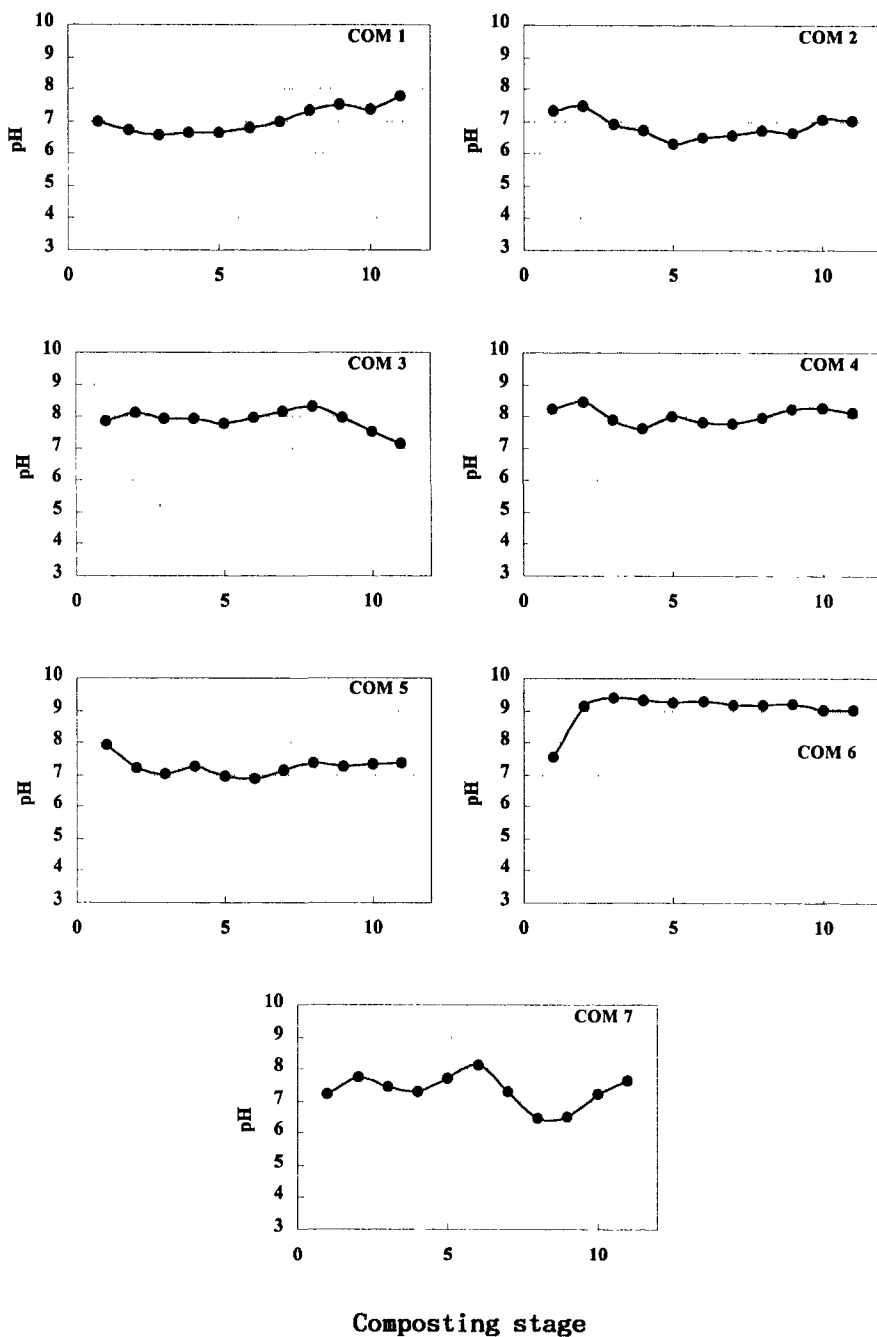


Fig. 3-1. The changes of pH of organic byproduct fertilizers during the composting.

료들은 부숙화에 따른 전형적인 pH 변화 양상을 보여주지는 않았는데, 이는 호기식 통풍부숙공정을 채택한 데에 기인한 것으로 생각되며, com6를 제외하고는 최종 제품에서의 pH가 7-8 정도로 나타나 완숙퇴비에서 나타나는 전형적인 pH의 범위인 6.5-8.0 안에 들고 있었다. 다만, com6의 경우 pH 9정도를 나타낸 것은 부숙과정 중에 산을 중화하기 위해 투여하는 알칼리가 과잉으로 사용된 것에 기인하는 것으로 생각된다. com6는 이렇게 높은 pH 때문에 생산 후에 반드시 후숙과정을 거쳐야 할 것으로 판단되는 부산물 비료이다.

이렇게, 일반적인 혐기식 부숙과정에서 나타나는 pH의 변화와는 다른 양상이 호기식 부숙공정을 채택하고 있는 대부분의 퇴비생산 시설의 공정 상에서는 나타나지 않고 있기 때문에, 대부분의 퇴비공장이 호기식 부숙공정을 채택하고 있는 현실에 비추어 볼 때, 부숙화의 지표로서 pH를 이용하는 것은 합리성이 낮다고 판단할 수 있겠다.

나. 전기전도도

Fig. 3-2는 제품별 부숙 단계에 따른 부산물비료의 전기전도도 (electrical conductivity, EC) 변화를 나타낸 것으로서 부숙화가 진행됨에 따른 변화는 크지 않았다. 제품별 전기전도도는 1dS/m에서 7dS/m의 값을 보였는데 이는 제품별 원재료의 특성에 기인한 결과로 보인다. 부산물비료들이 전반적으로 높은 전기전도도를 나타낸 것은 원료로 사용되는 축분의 영향이라고 보이는데, 특히 원료 중의 돈분 함량이 높거나 수분조절제 함량이 낮은 시료(com1, com2, com6, com7)에서 높은 전기전도도를 나타낸 점에서 앞으로 돈분을 주원료로 이용하는 부산물비료의 생산에서 주의를 요하는 점이라 생각된다. 우리 나라 일반 경작지 토양의 평균 전기전도도 값이 약 1.0 dS/m이며, 작물생육에의 한계값을 4dS/m (USDA, 1954)이라고 볼 때 전기전도도 값이 높은 제품을 연용 할 경우 이에 따른 작물피해도 예상된다.

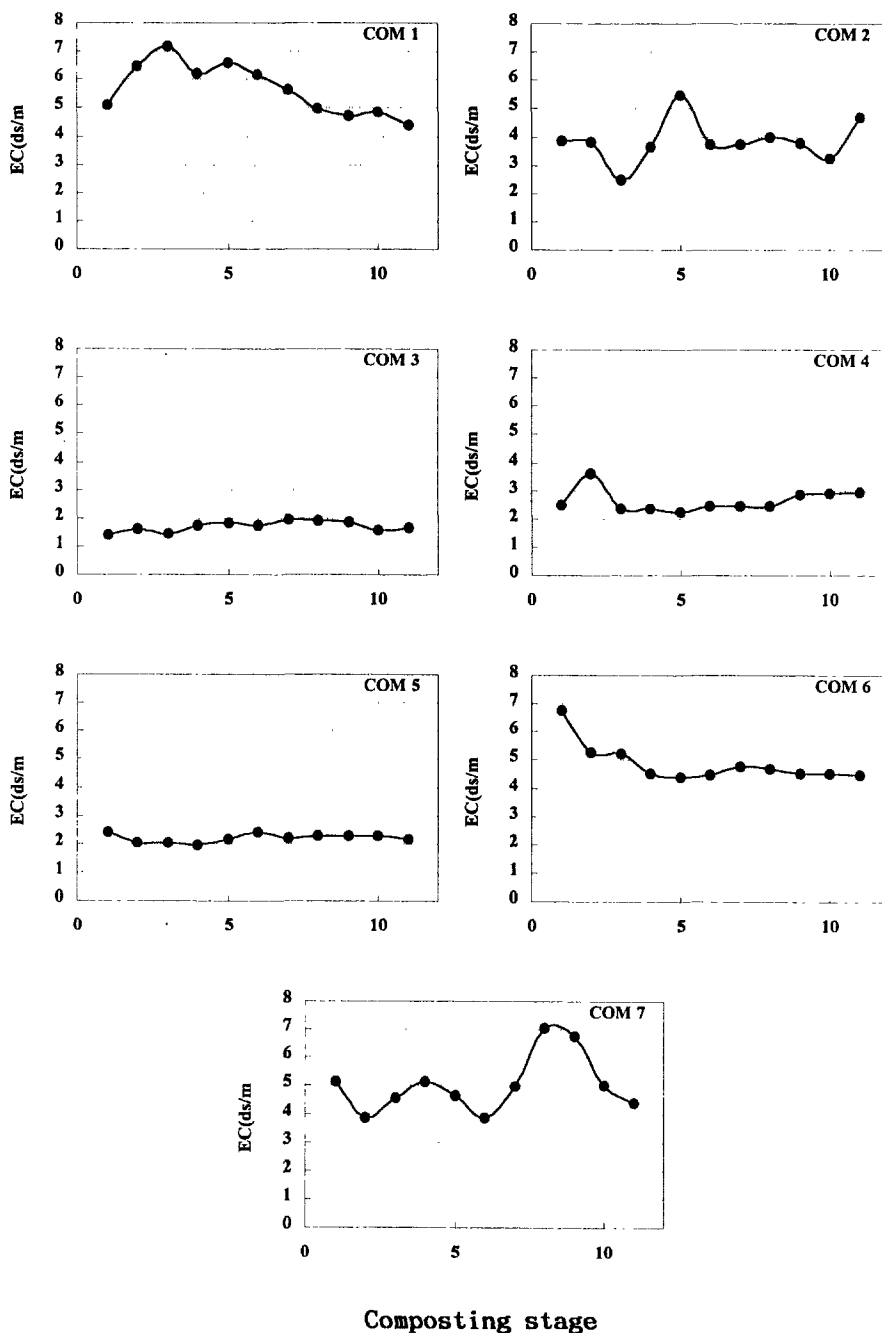


Fig. 3-2. The changes of electrical conductivity of organic byproduct fertilizers during the composting.

일반적으로 수용성 무기 염류량이 과다한 부산물비료를 토양에 시용할 경우 토양 내 염류집적 현상 일어남으로써 작물에 미량 요소 결핍, 발아불량 등의 토양의 생산력 저하의 원인이 되기도 한다. 특히 염분 함량이 높은 부산물비료를 시용 할 경우 토양의 전기전도도도 값이 증가하므로 부산물비료의 전기전도도는 시용량 결정에 있어서 주요한 요인이 되기(Guidi *et al.*, 1982; Chanyasak *et al.*, 1982) 때문에, 전기전도도를 품질관리의 주요 항목으로 운용해야만 하지만, 전기전도도 역시 원료나 공정에 따라서 일정한 경향성을 나타내지 않고 있기 때문에 부숙화의 척도로서는 어울리지 않는 항목이라고 판단되며, 이미 기준으로 운용되고 있는 NaCl 1% 미만의 규정을 통하여 전기전도도를 간접적으로 포함하여 평가하는 것이 부산물 비료의 품질관리에 타당하다고 생각된다.

다. 수분함량

부숙화에 따른 수분 함량 변화는 제조 공정에서 수분조절을 위해 일정시간대별로 물 뿌리기를 하여 부산물비료를 생산하는 COM 7을 제외한 모든 제품에서 초기 60~70%의 수분함량이 부숙이 진행됨에 따라 30~50%로 수분이 감소하는 경향을 보였다(Fig. 3-3). 그 변화정도는 COM 3에서 가장 작았으며 COM 5에서 가장 크게 나타났다. 수분 함량의 감소는 제조 공정에서 증발에 의해 일어나는데 온도 변화에 영향을 주는 제조 공정에서 뒤집기 횟수와 방법 차이에 따른 미생물 활성 차이가 온도에 영향을 주어 수분함량의 변화 양상에 영향을 주는 것으로 생각된다.

부산물 비료단의 수분함량은 부숙화 속도를 좌우하는 요인으로 알려져 있다. 부숙화에 적합한 초기 수분함량은 50~60%범위이며 수분함량이 40% 미만일 경우 호기적 분해가 이루어지기는 하나 분해속도가 저하되며 70%이상일 경우 공기 부족이 일어나 호기성 미생물의 활성이 저해되어 부숙화속도가 지연될 뿐 아니라 혐기성 미생물의 활성이 증가하여 악취를 일으키는 원인이 되기(Poincelot, 1975) 때문에 com7과 같은 일부 공정에서는 수

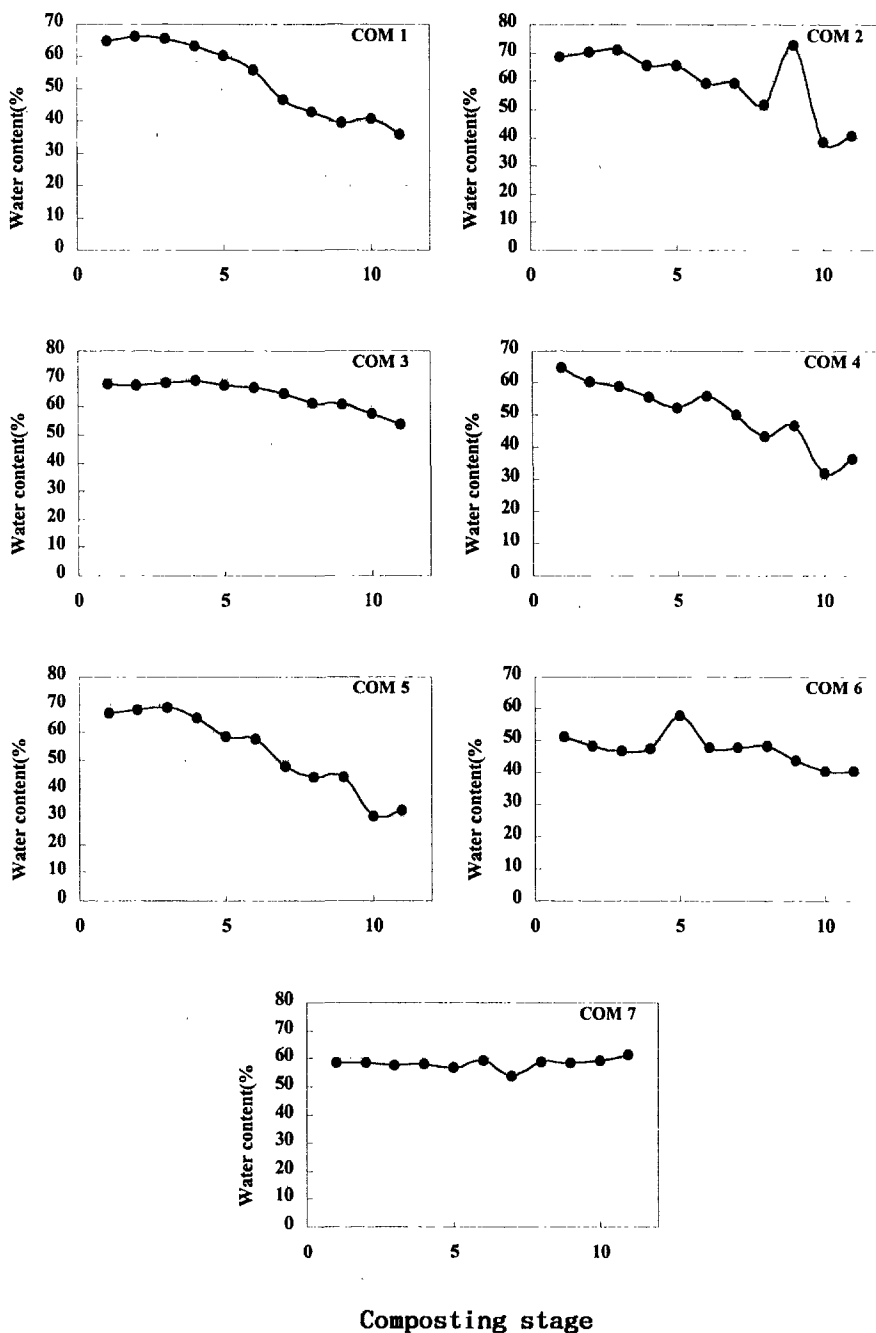


Fig. 3-3. The changes of water content of organic byproduct fertilizers during the composting.

분을 추가로 공급해주는 것이다.

다만, 부숙이 완료된 최종제품의 수분함량의 경우 com7을 제외한 모든 제품에서 40% 미만의 함량을 나타낸 반면, com7은 60%를 보여 높은 수분함량을 나타내고 있는데, com7의 경우 시판되기 위해서는 건조공정이 추가되어야 할 것으로 생각된다.

농업현장에서 부산물비료 사용으로 민원이 제기되는 경우는 수분함량이 높은 부산물비료를 사용할 때가 많은데, 이러한 현상이 발생하는 것은 속성부숙을 목표로 하는 호기성 부숙과정에서 완제품에 남아있게 될 완전히 부숙되지 않은 유기물들이 높은 수분함량이 유지될 경우, 운송 저장과정에서 혐기성 부패로 이어져 품질이 나빠졌을 가능성이 높은 이유 때문이다.

즉, 제품으로 생산된 이후에도 분해가 진행될 수 있는 톱밥과 같은 수분 조절제가 다량 함유되어 있고, 원료로 사용된 유기물도 완전히 부식화 되지 않은 속성발효과정에서 생산된 부산물비료의 수분함량이 70% 이상으로 유지되면 혐기성 부패(Poincelot, 1975)를 일으킬 가능성이 상존하는 것으로 판단할 수 있기 때문에 최종제품의 수분함량을 규제할 필요가 있다고 생각되는 것이다.

참고로 독일의 경우 생퇴비와 완숙퇴비의 품질기준에 수분함량을 기준항목으로 운용하고 있는데, 생퇴비는 포장되지 않은 상태에서 45% 이하, 완숙퇴비는 포장되지 않은 상태에서 45%, 포장된 상태에서 35%이하로 규정하고 있다(농업과학기술원, 1999).

독일과 같이 45% 이하로 수분함량을 낮추어 규정을 운용할 경우 제품의 건조과정에 추가적인 에너지의 투입이 필요하고, 이는 곧바로 부산물비료의 가격상승 요인으로 작용할 것이다. 부산물 비료의 가격상승은 현재로써도 부산물비료가 같은 비료성분량을 가지는 화학비료보다도 높은 가격(농업과학기술원, 1999)을 가진다는 점과, 높은 가격은 불량제품의 유통을 촉진시킬 수도 있다는 점에서 바람직하지 않은 대책이라고 생각된다. 즉, 비료가격을 상승시킬 수 있는 규정의 도입은 가능한 피해야 한다고 생각되기

때문에, 현재 우리나라의 부산물비료 공정에 건조공정의 추가 없이 품질을 유지할 수 있도록 하는 방안이 현실적인 대책이라고 판단된다.

따라서, 최종제품의 수분함량은 후숙기간 중에 50% 정도의 수분함량이 유지되어야 한다는 보고(장, 1995)와 안전한 퇴비의 공급이라는 측면을 강조한다면 60%를 기준으로 하는 것이 바람직하고, 운송·저장과정의 비용을 줄이면서 퇴비의 혐기성 부패를 방지하고자 한다면 70%이하를 유지해할 것이다.

이러한 검토와 외국의 예를 바탕으로 본 연구에서는 부산물비료 최종제품의 수분함량을 60% 이하로 유지하도록 하는 규정을 신설할 것을 제안하고자 한다.

수분함량을 규격기준으로 도입하여 운용하는 것은 제품생산 이후의 후숙 단계나 판매 단계에서의 비료의 부패를 예방하는 이점 이외에도 부산물비료의 실사용자인 농민이나 생산자 모두가 아주 편리하게 품질관리를 할 수 있는 부가적인 효과를 얻을 수 있다.

현재 운용되고 있는 품질기준 항목들인 유기물, 유해중금속, 유기물 대질소비 등은 모두 현장에서 관능적으로 판단할 수 있는 기준이 아니라 화학분석이라는 절차를 반드시 거쳐야만 하고 관능적으로 손쉽게 알아낼 수 없는 데 비하여, 수분함량 기준은 정확한 분석을 통하지 않더라도 관능검사가 가능하다. 즉, 손으로 부산물재료를 한줌 쥐어서 힘을 주어 꼭 쥐었을 때 손가락 사이로 물기가 스밀 정도가 되면 70% 이상, 물이 스밀 정도는 아니지만 손바닥에 물기를 느낄 수 있는 정도면 60% 전후, 물기를 거의 느낄 수 없는 상태로 손을 털면 묻었던 부스러기가 즉시 떨어질 정도면 40~50% 전후 등으로 볼 수 있어서(농업과학기술원, 1999), 물리적인 분석 절차를 거치지 않고 소비자나 생산자 또는 제품 감시자(공무원 또는 시민단체회원)가 즉각적으로 품질평가를 할 수 있다는 이점이 있다.

라. 암모니아태 질소, 질산태 질소 및 암모니아태 질소대 질산태 질소

부숙이 진행됨에 따른 암모니아태 질소와 질산태 질소의 함량변화를 보면, 암모니아태 질소는 부숙이 진행됨에 따라 감소하는 경향이 뚜렷하였는데, 제품별로 부숙 초기 암모니아태 질소 함량이 $3,000 \text{ mg kg}^{-1}$ 과 $20,000 \text{ mg kg}^{-1}$ 의 범위에서 부숙 후기 $1,500 \text{ mg kg}^{-1}$ 과 $12,000 \text{ mg kg}^{-1}$ 의 범위로 감소하였다(Fig. 3-4).

본 실험에서는 COM 1 COM 2 및 COM 4를 제외하고는 부숙 초기 단계에서의 암모니아태 질소 함량 증가가 나타나지 않았다. 이중 COM 1을 제외한 COM 2와 COM 4의 경우 원재료에 도축 폐기물이 함유되어 있어 상대적으로 단백질 함량이 높아 초기 분해과정에서 암모니아 생성이 많았던 것으로 추정되었다.

또한 부숙 초기의 암모니아태 질소함량이 많을수록 부숙화가 진행됨에 따라 급격히 감소하는 경향을 보였는데, 이는 공시재료로 사용된 부산물비료들의 생산공정이 호기성 교반 공정이었기 때문에, 암모니아태 질소의 농도가 높을수록 교반에 의한 암모니아태 질소의 휘산이 더 빨리 진행된 때문으로 생각된다.

암모니아태 질소의 함량은 원료에 따라서 매우 큰 차이를 나타내고 있고, 외국에서도 암모니아태 질소의 함량을 품질을 판정하기 위한 척도로 사용하고 있지는 않은 점 등의 이유로 부숙화의 지표로 하기에는 무리라고 생각된다.

질산태 질소의 함량 변화는 com1, com2, com5에서는 감소경향을 보였고, com3과 com7에서는 미약한 증가경향을 나타냈지만, com4와 com6에서는 함량의 증감경향을 인정하기 어려웠다(Fig. 3-5). 따라서 질산태 질소의 함량은 시험된 부산물비료에서 일관적인 경향으로 파악할 수 있는 특성은 아니었다.

부산물비료는 부숙이 진행되는 초기과정에서 단백질 분해균에 의해 암모니아가 생성되며 이후 질산화작용에 의해 암모늄이 아질산 이온을 거쳐

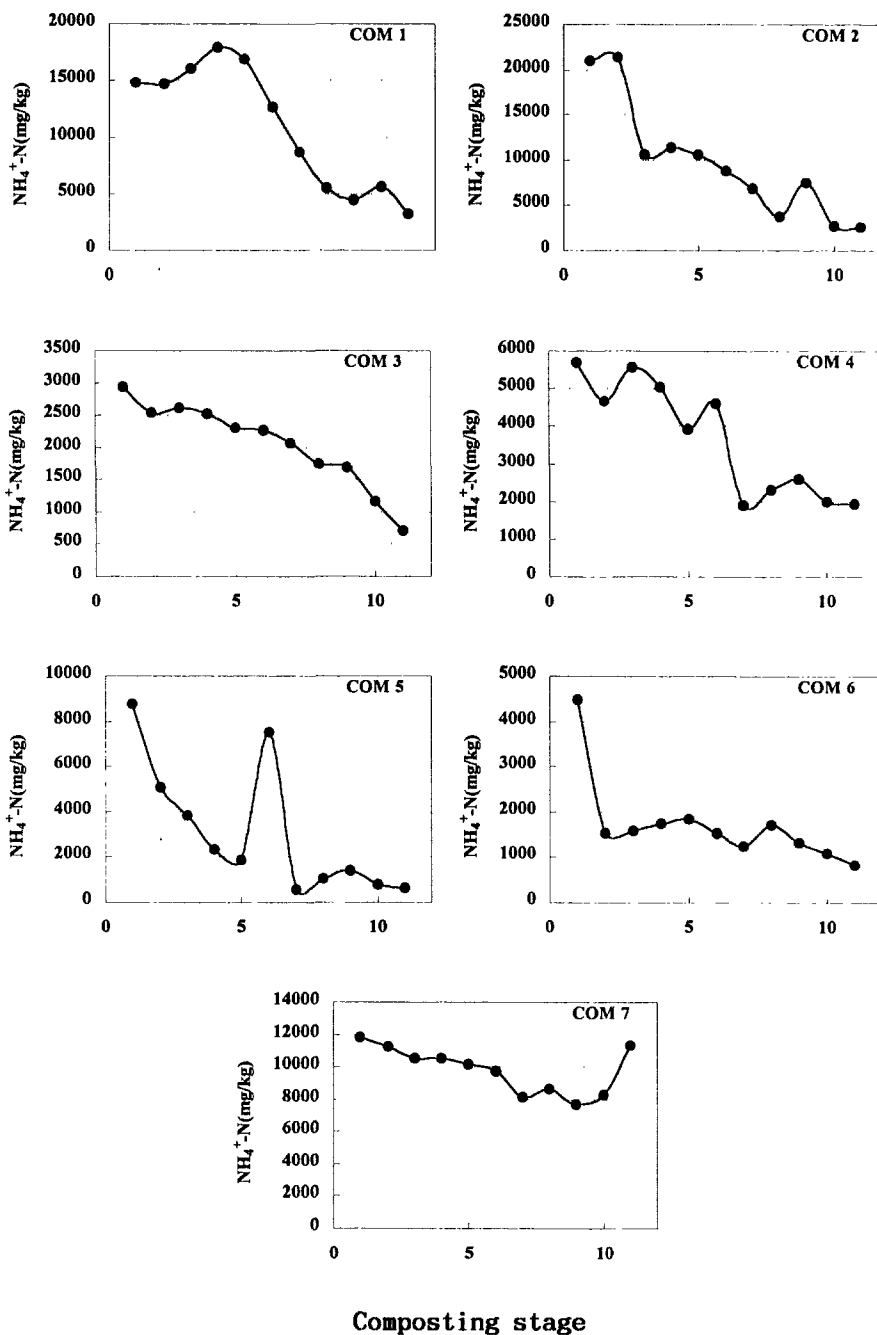


Fig. 3-4. The changes of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ of organic byproduct fertilizers during the composting.

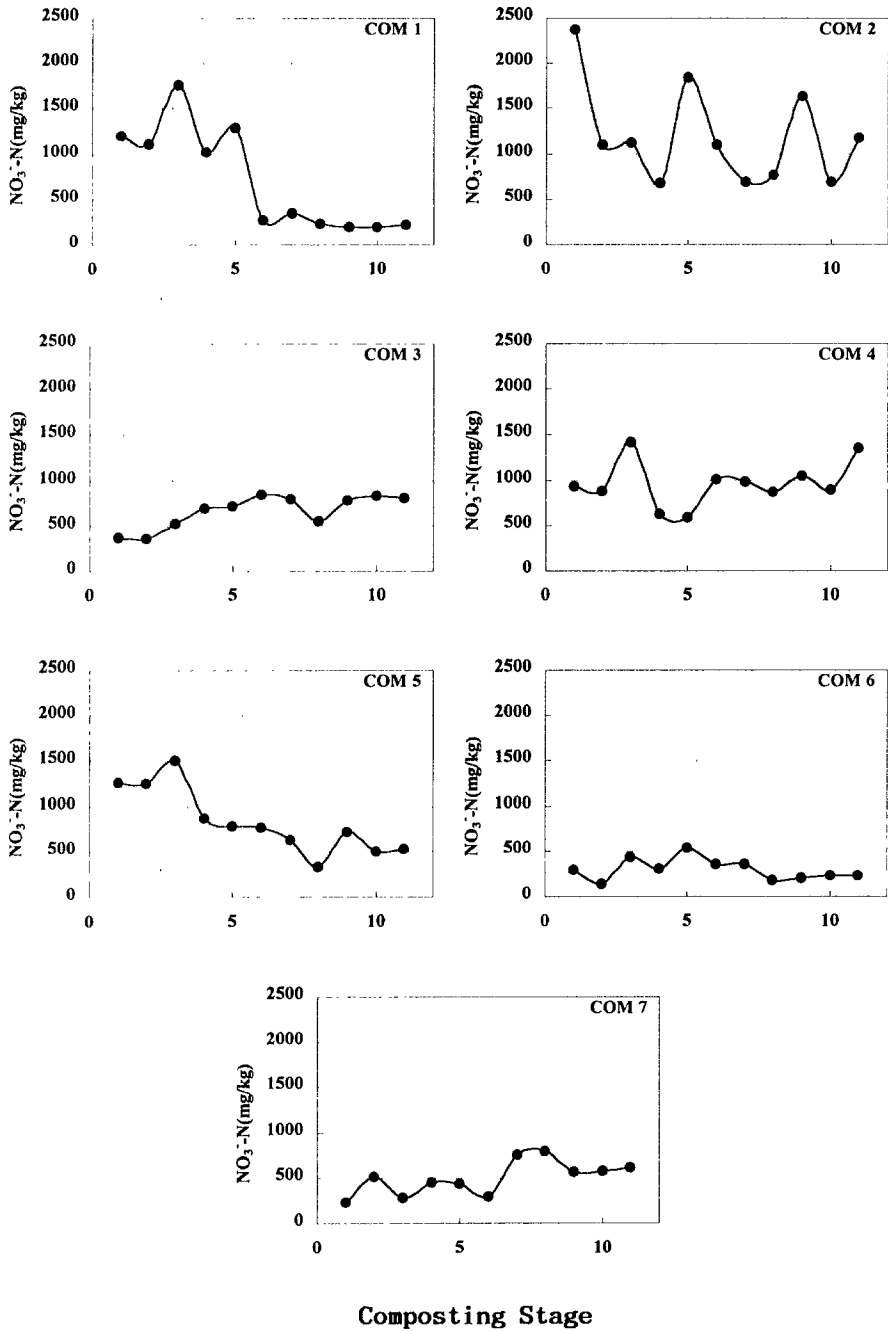


Fig. 3-5. The changes of $\text{NO}_3^- \text{-N}$ of organic byproduct fertilizers during the composting.

질산이온으로 전환된다(정, 1995). 따라서 유기물의 부숙과정에서는 초기에 암모니아의 함량이 높아지다가 감소하고, 질산태 질소의 함량은 서서히 증가하는 패턴을 보여야 한다. Finstein and Miller(1985)는 부숙 단계에서 아질산염이나 질산염이 생겨날 때 부산물비료로 이용할 수 있는 시기라고 하여 질산화에 의해 부숙도를 정의하였으며, Riffaldi (1986)는 부산물비료의 부숙평가에 있어서 암모늄의 감소와 안정화 그리고 질산염의 증가와 안정화가 지표라고 하였다. 일반적으로 암모늄은 부숙이 진행될수록 감소하여 최종적으로 초기질소의 15%정도를 나타내며 질산태 질소는 부숙 후반기에 증가되는 경향을 보이는 것으로 알려져 있다. 따라서 3개월 이상의 오랜 부숙기간을 거치는 혐기성 부숙화 공정에서는 암모니아태 질소와 질산태 질소의 증가 또는 감소 경향이 서로 상반되게 나타나는 것이 일반적인 현상이다.

그러나, 우리나라의 대부분의 부산물비료 생산업체가 채택하고 있는 호기성부숙화 공정을 거친 부산물비료들은, 본 연구에서와 같이 암모니아태 질소는 감소하지만 질산태 질소의 증가는 뚜렷하게 나타나지 않을 것으로 판단된다. 이는 부산물비료의 생산속도에 초점을 두고 이루어지는 호기성 부숙화 공정의 특징이라고 생각된다. 즉, 호기성 부숙화 공정은 완전한 부숙이 아니라 상당기간의 후숙 과정을 필요로 하는 제품을 생산하는 공정이라는 것을 입증하는 것이기도 하다.

또한 이러한 부산물 비료 생산공정 상의 특징은 암모니아태 질소나 질산태 질소의 함량변화나 단순하게 최종 제품에서의 함량만으로 부산물비료의 품질을 평가하기 어렵게 만드는 원인이기도 하다고 생각된다. 암모니아태 질소 함량의 저하는 질산화 작용뿐만 아니라 휘산에 의해서도 일어나므로 부숙화 단계의 지표로서 이용할 경우 질산염의 함량은 큰 변화가 없으므로 암모니아 휘산에 영향을 주는 외부 요인을 고려하여 생각하여야 한다고 볼 수 있다.

이런 점 때문에 최종제품이 어느 정도의 후숙 과정이 필요할지를 판단할

수 있는 기초자료로 암모니아태 질소와 질산태 질소의 비율을 사용할 수 있을 것인지를 검토할 필요가 있다고 생각된다.

암모니아태 질소대 질산태 질소비는 COM 1을 제외하고는 뚜렷한 감소 경향을 보였다(Fig. 3-6). 이는 질산태 질소의 증감에 의해서가 아니라 초기 원료에 높은 농도로 함유되어 있던 암모니아태 질소의 감소에 의한 결과라고 생각되며, 부숙 진행에 따른 이러한 암모니아태 질소의 급격한 감소는 부숙공정에 발생하는 열에너지에 의하여 휘산이 더욱 촉진된 결과라고 생각된다. 따라서 암모니아태 질소 대 질산태 질소의 비율은 초기 암모니아태 질소의 발생과 휘산에 의한 손실과 함께 질산태 질소의 생산 모두에 영향을 받는다는 점에서 부숙화의 정도를 어느 정도 지표할 수 있다고 판단된다.

마. 유기물함량, 전질소 및 유기물대 질소비

제품별 부숙화에 따른 유기물함량, 전질소 그리고 유기물대 질소비의 경우 전질소 함량은 미약하게 증가하였으나 유기물함량 변화는 대체적으로 다소 감소하는 경향을 나타냈다(Fig. 3-7, 3-8, 3-9). 부숙화에 따른 전질소의 증가 경향과 유기물대 질소비의 감소경향은 타 연구자들의 결과(Harada, 1981; Wong, 1985; Jimenez and Garcia, 1989)와 일치하였다.

유기물함량의 경우 일반적으로 탄소원이 미생물에 의해 에너지원으로 이용됨으로써 부숙화 과정에서 유기물이 감소하는 경향을 보이는데, 본 연구 결과는 감소 정도가 크지는 않았다. 이러한 결과는 본 연구에서 시험분석된 부산물비료들은 부숙공정을 통한 유기물의 분해속도가 현저하지 않았음을 나타낸 것이며, 가축분에 함유되어 있던 유기물과 수분조절제로 혼합되는 톱밥 등의 유기물들이 쉽게 분해되지 않았기 때문이라고 유추된다. 일반적으로 혐기성 발효공정을 통하여 유기물의 부숙이 완료되려면 적어도 6개월 이상의 시간이 필요함에도 불구하고 호기성 발효로 이 속도를 증가시키려는 호기성 공법이 목적하는 효율을 나타내지 않았다고 판단된다. 즉,

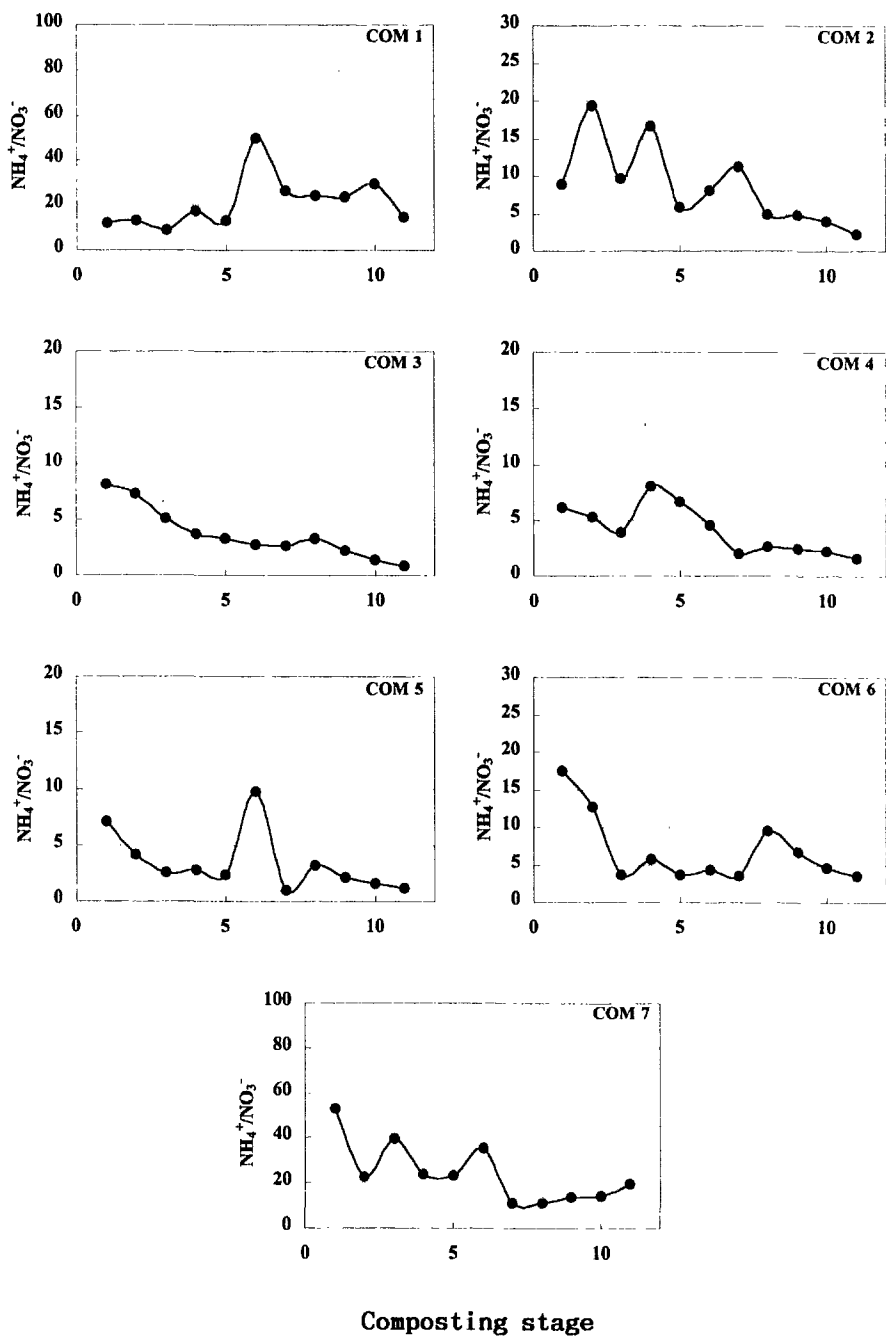


Fig. 3-6. The changes of $\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{NO}_3^--\text{N}$ of organic byproduct fertilizers during the composting.

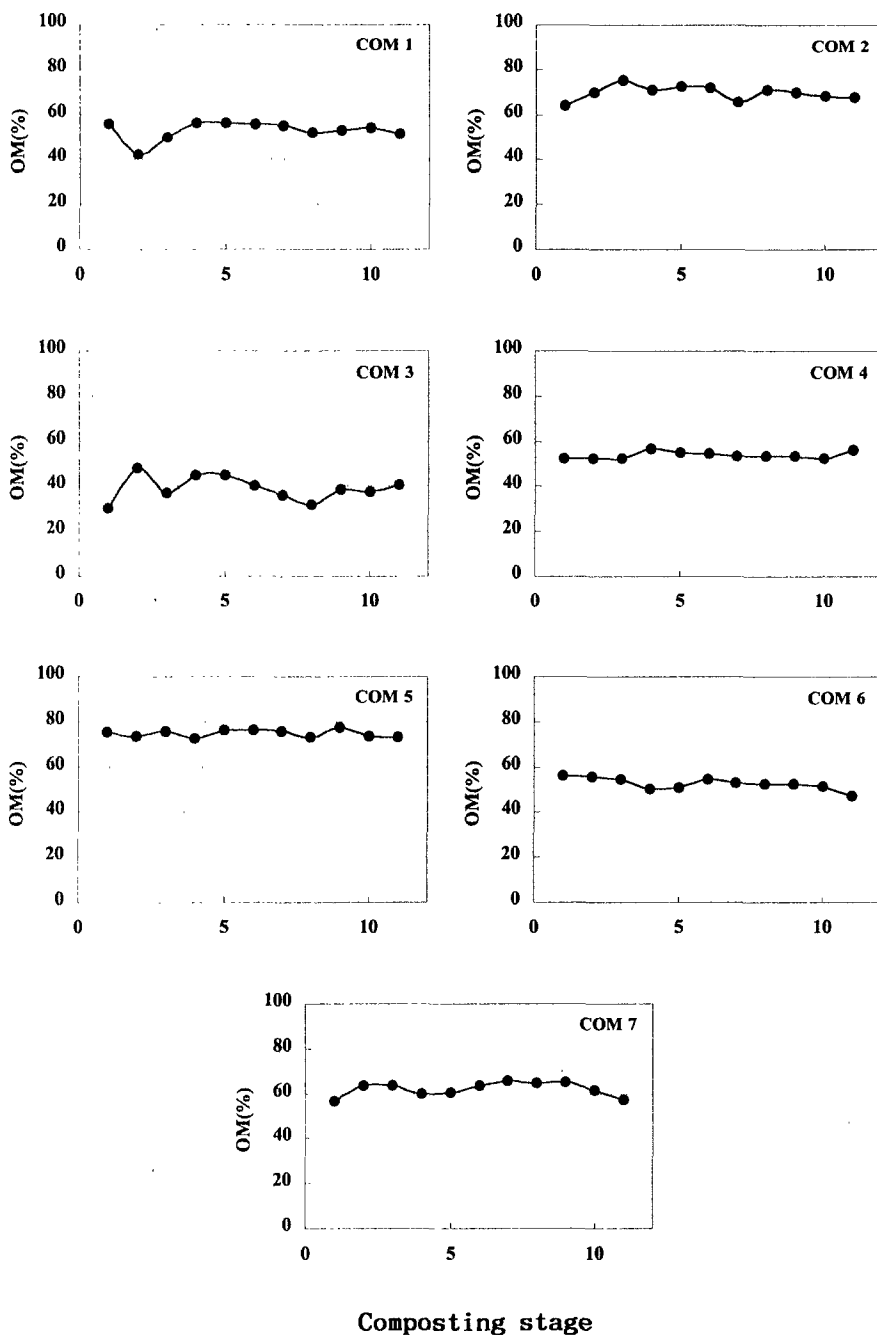


Fig. 3-7. The changes of organic matter of organic byproduct fertilizers during the composting.

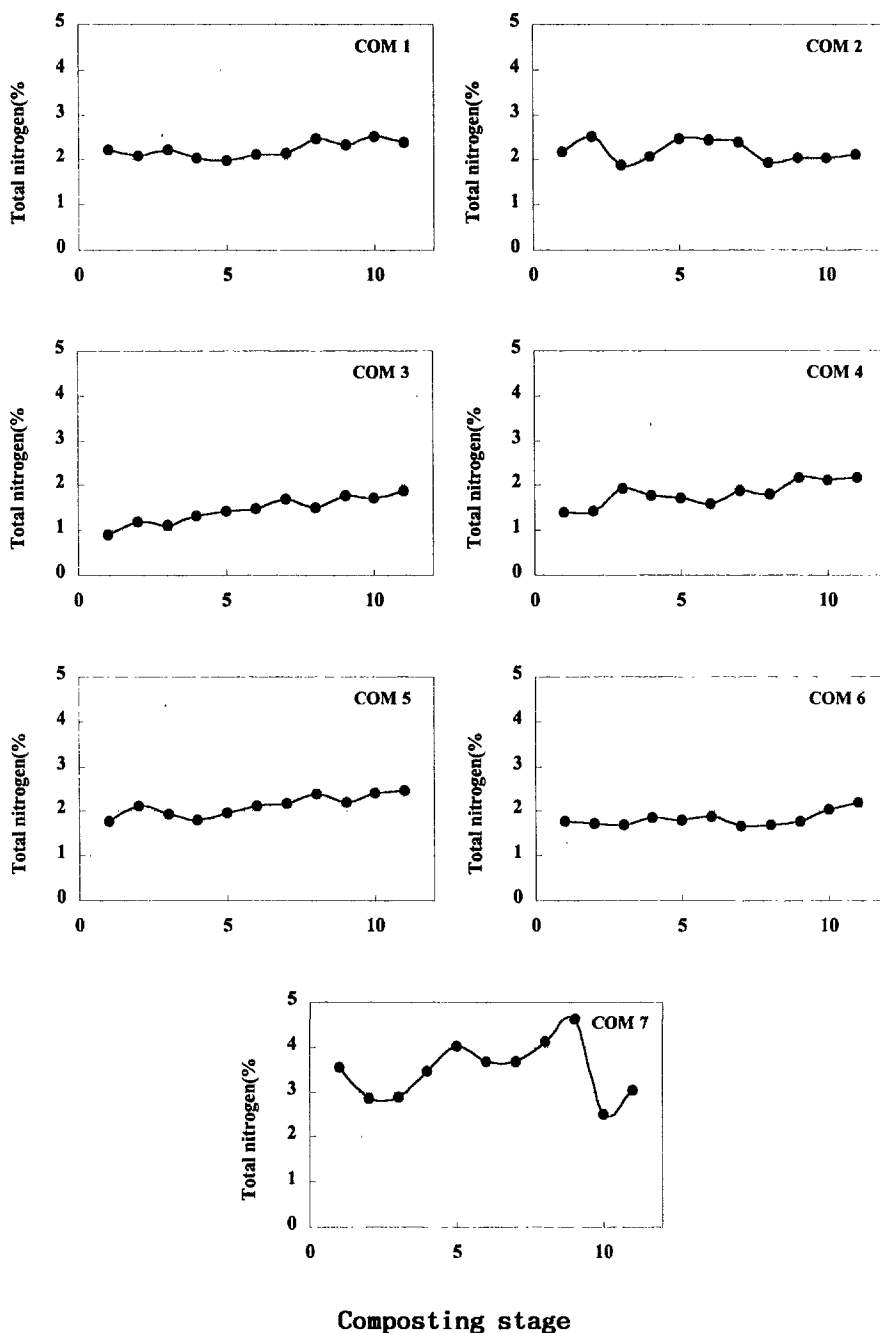


Fig. 3-8. The changes of total nitrogen of organic byproduct fertilizers during the composting.

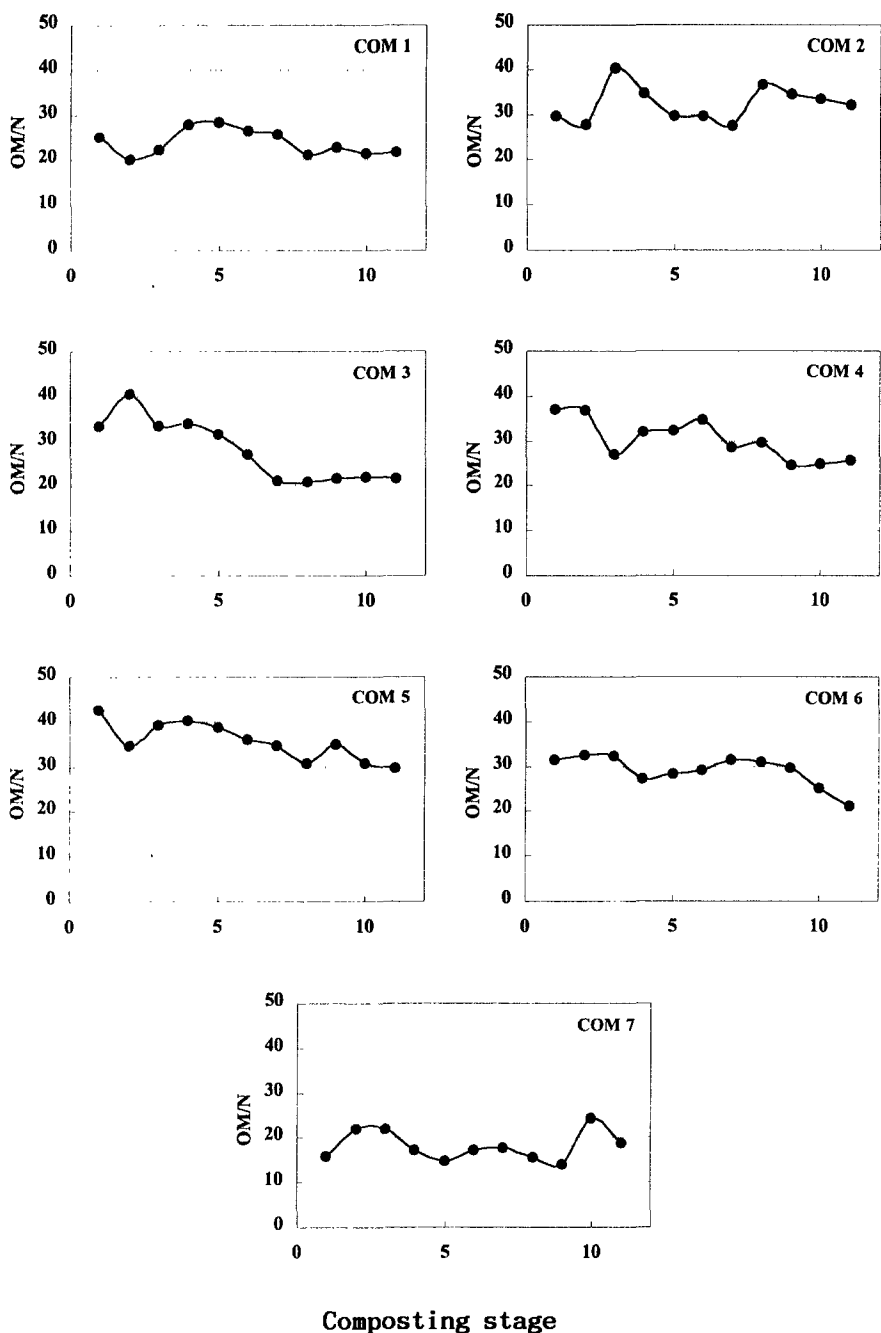


Fig. 3-9. The changes of OM/N of organic byproduct fertilizers during the composting.

현재 국내에서 부산물 비료의 생산에 널리 이용되는 호기성 부산물비료 생산공정에 의해 생산되는 부산물 비료는 반드시 완숙을 위한 후숙과정이 동반되지 않으면 안 된다는 것을 나타낸 것이라고 생각된다. 이외에도 유기물 함량은 부숙 기간과 뒤집기 횟수의 차이에 따른 부산물 비료단의 온도 차이 및 원재료의 조성차이 등으로 인하여 유기물 분해에 영향을 미치는 미생물의 활성 차이에 영향을 받는다고 볼 수 있다.

부숙화 단계에서 유기물 함량의 변화가 제품별로 다른 이유는 위에서 언급한 것처럼 재료 특히 부재료를 구성하는 유기물들의 분해성이 각기 달랐기 때문으로 생각된다. 즉 부재료에 포함된 이분해성 물질과 난분해성 물질의 함량의 차이에 영향을 받은 것으로 생각된다. 셀룰로오스나 펙틴과 같은 이분해성 물질 함량이 높을 경우 증온성 세균과 사상균에 의해 초기에 유기물 함량 감소가 크고 리그닌과 같은 난분해성 물질이 많은 경우 분해성 담자균류(*Coprinus* spp.) 코라인세균 등의 활성에 의해 후기에 분해되므로 유기물 함량 변화가 후기에 비교적 높게 나타날 수 있기 때문이다(황과 장, 1996).

부숙화에 적합한 탄질비는 25~35정도이다. 탄질비가 이보다 높으면 단백질합성에 필요한 질소량이 결핍되어 미생물의 증식이 억제되어 부숙화가 지연되며, 낮을 경우 동화되지 못하고 암모니아의 형태 등으로 질소가 손실된다(임 등, 1991; 임과 신, 1991). 또한 부숙화 과정의 고온기간에 생성된 암모니아의 휘산도 질소의 손실을 촉진시킨다(임과 신, 1991). 또한 토양환경에서는 탄질비가 30:1이상일 경우 질소의 고정화가 유기물의 무기화보다 커지고 15:1이하일 경우는 무기화가 고정화보다 커진다고 알려져 있다(조 등, 1995). 이처럼 부산물비료의 유기물대 질소비 또는 탄질비는 부숙화에 영향을 미칠 뿐 아니라 시용 후 토양 내 질소의 무기화와 고정화에 대한 지표로서 이용되기 때문에 부숙도 평가 기준항목으로 활용되고 있다.

본 실험의 결과 제품별로 차이가 있으나 최종 부숙 단계의 유기물대 질

소비가 20:1~30:1 정도의 값을 나타냈는데, 이를 탄질비로 나타내면 12:1~18:1의 범위이다. 이러한 탄질비는 시용에 의하여 문제를 발생시키지는 않은 값으로 판단된다. 또한, le Bozec and Resse(1987)가 도시고형폐기물 부산물비료의 부숙화 연구에서 부숙 후 탄질비는 20:1이하이어야 한다고 한 보고와 Inoko *et al.*(1970)이 도시고형폐기물을 주원료로 하고 부재료와 부숙 기간을 달리하여 제조한 부산물비료의 실험 결과에서 탄질비가 13:1~31:1의 값이라고 보고한 결과와도 유사한 값을 나타내는 것이다.

그러나 위의 연구자들이 사용한 원재료에는 우리 나라에서 현재 수분조 절제로 많이 사용하고 있는 톱밥과 같이 분해속도가 느린 원료가 사용되지 않았기 때문에, 본 실험에서 나타난 유기물대 질소비로부터 환산한 탄질비만으로 부숙의 정도를 비교 평가하는 데에는 다소 무리가 있을 것으로 판단된다.

바. 양이온치환용량

농업적 측면에서 양이온치환용량은 중요한 의미를 가진다. 그 값이 클수록 작물생육에 필요한 유효영양성분에 대한 보유능이 커지며, 작물에 대해 비료로 시용된 영양성분의 이용률을 증대시키고, 토양반응에 저항하는 완충능이 증대되어 작물의 안전 생육에 큰 영향을 미친다.

본 실험의 경우 최종 부숙 단계에서 40~110 cmol kg⁻¹로서 타 연구자들의 결과와 비슷한 결과를 나타냈다. 제품에 따라 변화 폭은 차이를 보였으나 전체적으로 부숙이 진행될 수록 증가하는 경향을 보였다. 최종 부숙단계를 기준으로 보면 COM 1과 COM 6를 제외하고는 50% 정도가 증가하여 그 증가량이 뚜렷하게 나타났다. 최종 부숙단계의 수치가 제품에 따라 큰 차이를 나타낸 것은 COM 1과 COM 4의 경우에서 알 수 있는 것처럼 원재료 자체의 양이온치환용량 수치가 차이가 크기 때문인 것으로 생각된다(Fig. 3-10).

Inbar *et al.*(1990)와 Jacas *et al.*(1987)등도 원재료의 차이에도 불구하고

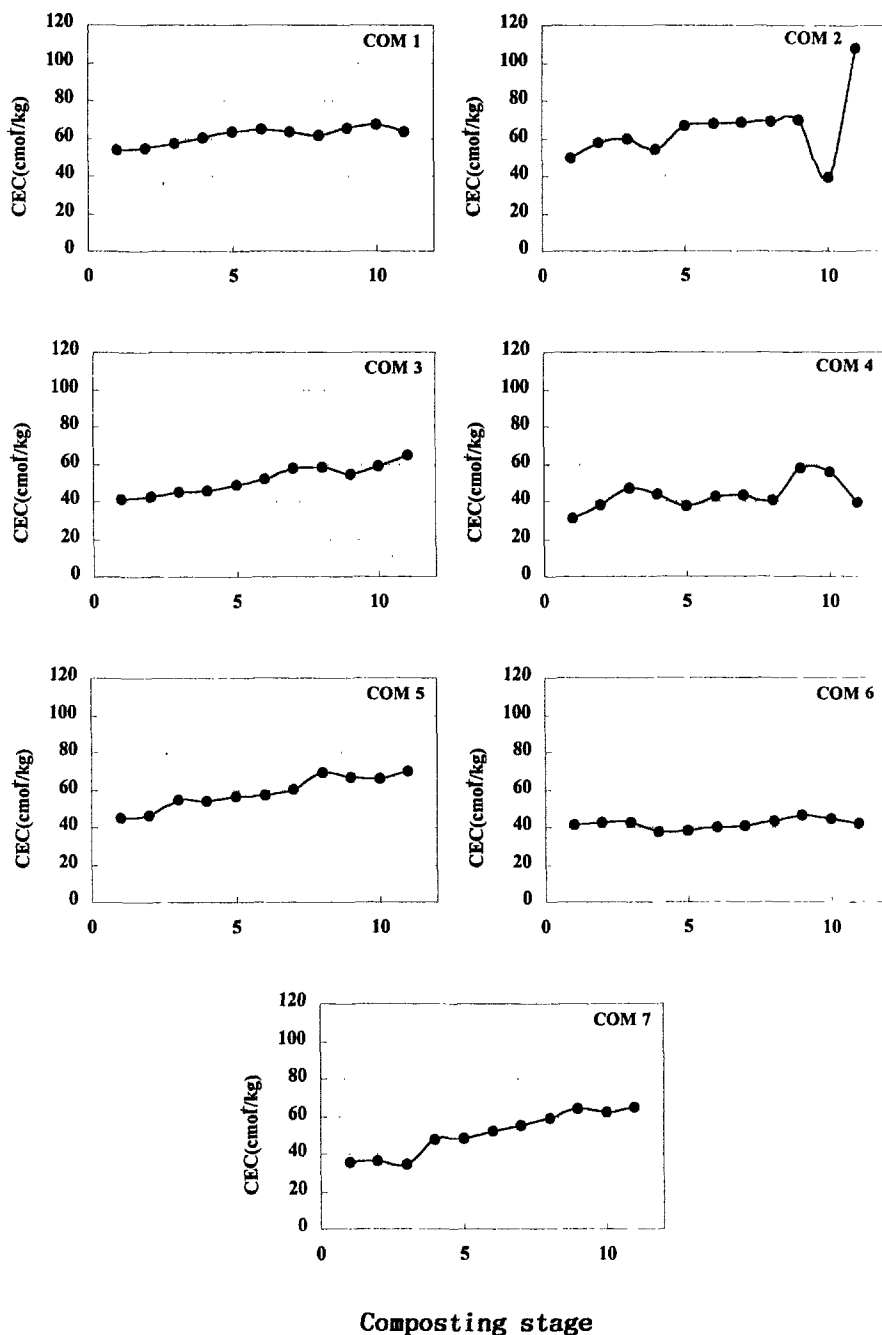


Fig. 3-10. The changes of CEC of organic byproduct fertilizers during the composting.

하고 부산물비료가 부숙 될수록 유기물이 분해되어 작은 입자량이 많아지게 되고 결국 작용기들이 증가되어 양이온치환용량은 증가된다고 하였으며, 양이온치환용량은 동일 재료일 경우는 유사한 값을 보이나 원재료의 차이에 따라 19.7~66.7 cmol kg⁻¹의 범위를 보였으며 수피(樹皮)부산물비료는 150 cmol kg⁻¹정도이고 도시고형폐기물 부산물비료는 80 cmol kg⁻¹ 정도로 나타났다고 하였다.

이처럼 양이온치환용량은 다른 부숙화 과정에서 변화하는 다른 특성과는 달리 모든 제품에서 초기와 후기 단계에 확실한 차이를 나타내 퇴비의 부숙화 추정을 위한 적합한 지표로 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

사. 부식물질 함량 및 부숙화도 변화

부식물질 함량은 부숙 기간에 따라 다소 차이는 있으나 부식산의 경우 부숙화가 진행될수록 전체적으로 증가하는 경향이 나타난 반면 폴브산은 증가하거나 큰 변동이 없는 것으로 나타났다. 또한 부식화율은 부숙 단계에 따라 증가하는 경향을 나타내었다(Table 3-1~Table 3-7).

부식화도의 경우 COM 7을 제외한 모든 시료에서 뚜렷한 증가 경향을 나타내었다(Fig. 3-11). 부산물 중의 유기물질은 분해된 후 부식산과 폴브산 등의 부식물질로 변형되어 영양소의 저장, 공급, 완충작용, 금속이온과의 상호작용 등의 역할을 하게 되므로 부식화도의 증가는 부산물비료의 품질과 직접 관련이 있음에도 불구하고 적절한 부식화도에 대한 연구보고는 미미한 실정이다. 본 실험에서 최종 부숙단계의 부식화도는 0.4~0.8 정도의 수치를 나타냈다.

Riffaldi(1983)는 토양에서 추출한 부식물과 유기성 폐기물에서 추출한 부식물의 비교연구에서 유기성 폐기물에서 추출한 부식산 및 폴브산의 화학적 조성은 토양 중 부식물과 상이하고 대체적으로 높은 질소함량과 낮은 산성관능기 함량, 복잡한 구조 등을 보여 미숙한 부식물의 특성을 지닌다고 보고하였으며 일반적으로 부산물비료가 숙성화, 안정화되는 과정에서

Table 3-1. Changes in the humic substances and humification ratio of COM 1 by the compositing stage

Compositing Stage	HA ¹	FA ²	HU ³	Total ⁴	HR ⁵
	%				
1	2.10	4.72	-	-	0.445
2	2.25	5.04	-	-	0.446
3	2.35	6.08	0.3	8.73	0.387
4	1.80	4.40	-	-	0.409
5	2.10	5.20	2.1	9.40	0.404
6	2.65	4.64	0.5	7.79	0.571
7	3.30	4.88	0.6	8.78	0.676
8	3.75	4.56	0.6	8.91	0.822
9	3.35	5.20	0.8	9.35	0.644
10	3.40	4.40	0.3	8.10	0.773
11	3.65	3.84	0.7	8.19	0.951

¹HA: Humic Acid, ²FA: Fulvic Acid, ³HU: Humin, ⁴Total: HA + FA + HU, ⁵HR(Humification Ratio) = HA / FA.

Table 3-2. Changes in the humic substances and humification ratio of COM 2 by the compositing stage

Compositing Stage	HA ¹	FA ²	HU ³	Total ⁴	HR ⁵
	%				
1	1.50	4.20	1.8	7.50	0.357
2	1.40	5.40	2.5	9.30	0.259
3	1.25	3.48	0.1	4.83	0.359
4	1.60	3.48	1.0	6.08	0.460
5	2.05	3.64	0.6	6.29	0.563
6	2.55	3.88	1.0	7.43	0.657
7	2.5	3.24	0.9	6.64	0.772
8	2.25	2.36	0.8	5.41	0.953
9	2.25	2.84	0.7	5.79	0.792
10	2.20	3.00	0.5	5.70	0.733
11	2.25	2.92	1.1	6.27	0.771

¹HA: Humic Acid, ²FA: Fulvic Acid, ³HU: Humin, ⁴Total: HA + FA + HU, ⁵HR(Humification Ratio) = HA / FA.

Table 3-3. Changes in the humic substances and humification ratio of COM 3 by the compositing stage

Compositing Stage	HA ¹	FA ²	HU ³	Total ⁴	HR ⁵
	%				
1	1.80	1.60	1.0	4.40	1.125
2	1.90	2.96	1.3	6.16	0.642
3	1.75	2.08	1.3	5.13	0.841
4	1.80	1.52	1.2	4.52	1.184
5	2.2	1.60	1.3	5.10	1.375
6	1.60	1.12	0.6	3.32	1.429
7	2.15	1.36	1.2	4.71	1.581
8	1.80	1.04	1.1	3.94	1.731
9	1.25	1.04	1.6	3.89	1.202
10	1.75	1.12	1.6	4.47	1.563
11	2.90	1.12	1.8	5.82	2.589

¹HA: Humic Acid, ²FA: Fulvic Acid, ³HU: Humin, ⁴Total: HA + FA + HU, ⁵HR(Humification Ratio) = HA / FA.

Table 3-4. Changes in the humic substances and humification ratio of COM 4 by the compositing stage

Compositing Stage	HA ¹	FA ²	HU ³	Total ⁴	HR ⁵
	%				
1	1.05	3.36	0.8	5.21	0.313
2	0.85	5.44	1.2	7.49	0.156
3	1.35	4.00	1.2	6.55	0.338
4	1.95	4.16	1.4	7.51	0.469
5	1.3	3.84	1.1	6.24	0.339
6	1.65	4.48	1.8	7.93	0.368
7	1.90	3.68	1.3	6.88	0.516
8	1.80	1.76	1.5	5.06	1.023
9	1.60	2.08	-	-	0.769
10	1.85	2.72	-	-	0.680
11	2.20	2.40	1.3	5.90	0.917

¹HA: Humic Acid, ²FA: Fulvic Acid, ³HU: Humin, ⁴Total: HA + FA + HU, ⁵HR(Humification Ratio) = HA / FA.

Table 3-5. Changes in the humic substances and humification ratio of COM 5 by the compositing stage

Compositing Stage	HA ¹	FA ²	HU ³	Total ⁴	HR ⁵
	%				
1	1.75	3.52	3.5	8.77	0.497
2	2.50	3.84	4.2	10.54	0.651
3	3.15	3.84	4.4	11.39	0.820
4	1.45	3.20	4.7	9.35	0.453
5	2.05	2.72	4.4	9.17	0.754
6	2.40	3.68	4.7	10.78	0.652
7	2.30	3.04	5.4	10.74	0.757
8	2.40	2.08	4.2	8.68	1.154
9	2.45	3.04	3.9	9.39	0.806
10	2.55	3.52	3.7	9.77	0.724
11	2.60	4.32	3.5	10.42	0.602

¹HA: Humic Acid, ²FA: Fulvic Acid, ³HU: Humin, ⁴Total: HA + FA + HU, ⁵HR(Humification Ratio) = HA / FA.

Table 3-6. Changes in the humic substances and humification ratio of COM 6 by the compositing stage

Compositing Stage	HA ¹	FA ²	HU ³	Total ⁴	HR ⁵
	%				
1	1.00	1.44	0.6	3.04	0.694
2	1.55	1.36	0.1	3.01	1.140
3	1.20	1.28	0.3	2.78	0.938
4	1.35	1.20	0.7	3.25	1.125
5	1.25	1.20	0.1	2.55	1.042
6	1.50	1.84	0.7	4.04	0.815
7	1.25	1.60	0.3	3.15	0.781
8	1.35	1.52	0.3	3.17	0.888
9	1.65	2.16	0.7	4.51	0.764
10	1.45	0.80	0.5	2.75	1.813
11	1.65	0.88	0.3	2.83	1.875

¹HA: Humic Acid, ²FA: Fulvic Acid, ³HU: Humin, ⁴Total: HA + FA + HU, ⁵HR(Humification Ratio) = HA / FA.

Table 3-7. Changes in the humic substances and humification ratio of COM 7 by the compositing stage

Compositing Stage	HA ¹	FA ²	HU ³	Total ⁴	HR ⁵
	%				
1	1.35	0.80	2.4	4.55	1.688
2	1.70	2.08	2.3	6.08	0.817
3	1.50	4.16	2.1	7.76	0.361
4	1.65	4.00	1.9	7.55	0.413
5	1.85	4.32	6.4	12.57	0.428
6	1.60	4.00	3.4	9.00	0.400
7	2.15	4.96	2.1	9.21	0.433
8	1.95	5.76	1.9	9.61	0.339
9	1.75	5.44	1.4	8.59	0.322
10	1.65	5.92	1.8	9.37	0.279
11	1.10	4.48	1.4	6.98	0.246

¹HA: Humic Acid, ²FA: Fulvic Acid, ³HU: Humin, ⁴Total: HA + FA + HU, ⁵HR(Humification Ratio) = HA / FA.

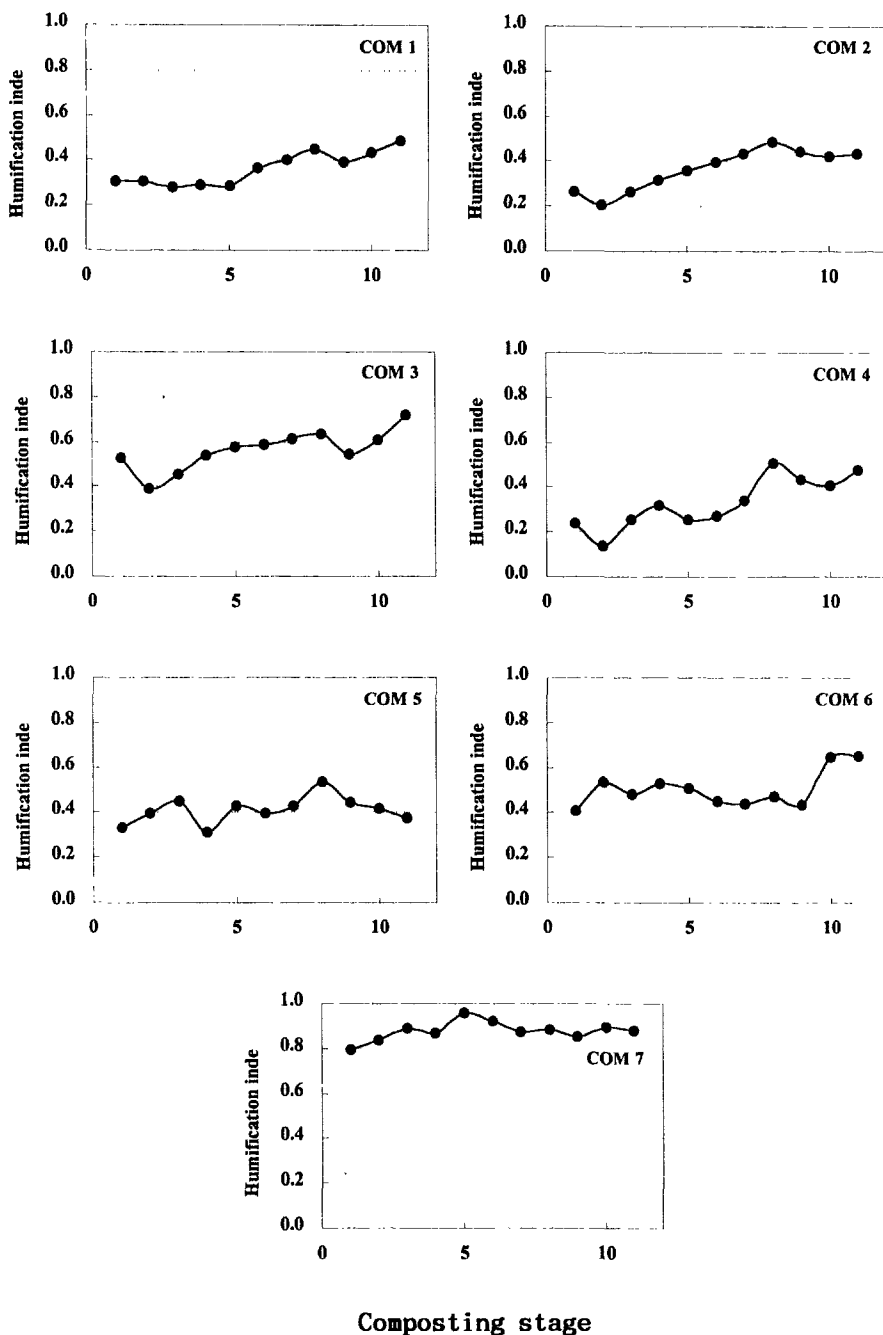


Fig. 3-11. The changes of humification index of organic byproduct fertilizers during the composting.

부식산의 함량 및 리그닌 함량은 증가하며 메톡실기는 유기물함량의 감소로 인하여 대개 줄어드는 경향을 보다고 보고하였는데, 본 연구에서 나타난 결과와도 일치하는 현상이었다. 따라서 부숙이 진행됨에 따른 부식산의 감소는 부산물 비료의 부숙공정의 진행도를 판단하는 지표로 사용할 수 있을 것이라고 생각되었다.

2. 부숙화 정도에 따른 이화학성 변화 경향 종합 분석

부산물비료나 퇴비의 부숙도를 판정하기 위해 아주 많은 종류의 지표들이 제안되거나 사용하고 있지만, 위에서 살펴본 바와 같이 재료와 부숙공정의 차이 등의 이유 때문에 모든 종류의 부산물 비료나 퇴비에 일률적으로 일반화시켜 적용할 수 있는 지표는 없는 실정이다(농업과학기술원, 1999). 그러나, 현실적으로 많은 량의 부산물비료나 퇴비 등이 생산되고 실제로 유통·이용되고 있는 점에 비추어 볼 때 부숙화정도를 객관적으로 판단할 수 있는 지표를 설정하는 것은 대단히 중요한 일이다. 유기물 함량이나, 유기물대 질소비와 같은 일부 부숙도 지표 항목들은 이미 비료관리법에서 채택되어 지표로 활용되고 있지만, 보고서, 기술지도서, 논문 등에서 제안되고 있는 색깔, 형태, 냄새, 온도, 돈모장력법, 질산태질소 함량, pH, 원형여지크로마토그래피, 부식물질 함량, 기타 생물학적 시험법 등은(장, 1999; 정 등 1998; 농업과학기술원 1999; 양 1998; Riffaldi, 1983; Inbar *et al.*, 1990; Jacas *et al.*, 1987) 일반적 적용이 어려워 최종제품의 품질관리를 위한 기준으로는 채택되고 있지 않은 실정이다.

부숙화가 진행됨에 따른 부산물비료 이화학성의 변화 양상을 종합분석하기 위하여 주재료와 부재료의 차이 및 부숙 방법 및 부숙 기간이 다른 부산물비료의 이화학성 변화를 지수화하여 나타낸 결과는 Table 3-8과 같다.

변화 경향성에 대한 지수화는 다음의 방법으로 수행하였다. 즉, 연구의 대상이 된 부산물비료 각각의 물리화학성을 나타내는 항목별로, 부숙화가 진행됨에 따라 그 값이 증가하는 경향을 보인 경우 1, 감소하는 경향일 때는 -1, 증가나

Table 3-8. Tendency index of chemical properties of organic byproduct fertilizers

Properties	Samples							Tendency index ³
	COM 1	COM 2	COM 3	COM 4	COM 5	COM 6	COM 7	
pH	1	0	0	0	0	1	0	0.29
EC	-1	0	1	0	0	-1	1	* ⁴
W.C ¹	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	-0.86
NO ₃ ⁻ -N	-1	-1	1	1	-1	0	1	*
NH ₄ ⁺ -N	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
NH ₄ ⁺ -N/NO ₃ ⁻ -N	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
T-N	1	0	1	1	1	1	1	0.86
OM	0	0	0	0	0	0	0	0
OM/N	-1	0	-1	-1	-1	-1	0	-0.71
CEC	1	1	1	1	1	1	1	1
Humification Index	1	1	1	1	1	1	1	1

¹W.C: Water Content.,

²Tendency: Tendency of physico-chemical properties changes during composting;

-1: decreased during composting, 0: unchanged during composting; 1: increased during composting,

³Tendency index: Σ values of sensory evaluation/the number of samples, ⁴*: no tendency.

감소가 거의 없는 경우는 0으로 표시하였다. 이렇게 나타난 동일 항목에 대한 제품별 지수의 평균값을 경향지수로 하였다. 다만, 같은 항목에 대하여 제품별로 증가나 감소의 경향이 다르게 나타나서 일관적인 경향성을 보이지 않은 항목에 대하여는 *로 나타냈다. 위와 같이 판단한 경향지수는 부속이 진행됨에 따라 항목별로 증감하는 정도를 비교 판단하는데 도움이 되는 좋은 지표가 될 수 있을 것이라 생각된다.

원재료와 부속방법에 관계없이 부속이 진행될수록 뚜렷한 증가경향을 나타낸 항목은 종합적인 경향지수 1의 만점을 보인 양이온치환용량과 부속화도 이었다. 양이온치환용량과 부속화도는 미생물의 활성화에 의해 재료의 분해가 증가함에 따라 영향을 받는 것으로서 미생물의 활성화에 따라 다소 차이가 있을 수 있으나 모든 제품에서 공통적으로 증가하는 결과를 나타냈다.

양이온치환용량과 부식질의 경우 부산물비료 시용에 따른 토양 개선 효과로 잘 알려져 있는 항목으로 부산물비료의 이용 목적이 토양 시용시 양이온치환용량과 부식 증가에 따른 입단 형성 촉진에 있음을 고려할 때 중요한 항목이다.

이외에도 대표적인 화학성인 암모니아태 질소대 질산태 질소비는 전반적으로 감소하는 경향이었는데 이는 부속화에 따라 질산태 질소 함량의 변화 경향은 나타나지 않았던 반면 암모니아태 질소 함량의 감소 폭이 컸기 때문으로 생각된다. 전질소 및 유기물대 질소비는 증가하는 경향이었으나 부산물비료의 부속화를 추정하기에 충분한 경향을 보이지는 않았다. 전질소 함량은 수분 함량의 감소와 전체 부산물비료의 중량이 감소함으로 인해 증가하는 경향을 보였을 뿐 실제로 부속화 과정에서 재료의 총량은 감소할 것으로 추정된다. 즉 이들은 그 자체의 함량 변화보다도 수분 함량이나 원재료의 중량 변화에 의해 영향을 받는 특성이므로 부속화의 절대적 지표로 이용하는 데에는 적합하지 않은 것으로 생각된다.

수분함량은 모든 제품에서 감소하는 경향은 나타냈으나 이미 수분함량 변화를 고찰한 부분에서 언급한 바와 같이 com7의 경우에는 부속화에 중요한 미생물 활성을 촉진하기 위해 인위적인 수분 공급을 실시하여 수분

함량의 지속적인 감소가 분명하지 않았다. 이 때문에 수분함량에 대한 경향성 지수가 약간 낮게 나타났다. 그러나, 수분함량의 경우에는 부숙화도의 척도로서 뿐 아니라, 생산된 제품의 운송 보관과 품질검사에 용이하게 사용할 수 있다는 점에서 부산물비료의 품질관리를 위한 규정항목으로의 운용을 적극적으로 검토할 것을 제안하고자 한다.

부숙 단계별 pH, 전기전도도와 질산태 질소는 경향을 보이지 않았는데 이러한 항목들은 특히 원재료와 부숙방법에 따른 차이가 크게 나타남을 알 수 있었다. 이러한 현상은 본 연구의 대상이 된 부산물비료의 부숙과정에서 일반적으로 감소되어야 하는 유기물함량이 감소경향을 나타내지 않은 것은 부산물비료 제조에 수분조절제로 부여되는 톱밥 등의 분해속도가 느리기 때문이기도 하고, 분해에 의하여 이산화탄소로 없어지는 탄소량을 고려하지 않은 때문이기도 하다.

그러나 현실적으로 유기물함량을 지표항목으로 한다면, 그 경우에도 본 연구에서 분석한 중량에 대한 함량으로 나타낼 수밖에 없고, 초기에 부여된 유기물 함량 부산물 비료 중의 유기물 함량 변화는 제조 공정이나 재료의 차이에 크게 영향을 받는 것으로 나타났으므로 부산물비료의 품질이나 부숙정도의 간접적 평가 기준으로 이용하기에는 부적절하다고 보여진다.

부산물비료의 부숙화 정도를 판단하는 기준은 여러 연구자들에 의해 부산물비료의 여러 화학성의 변화 특성을 기준으로 보고되고 있다. 그러나 축산부산물을 주재료로 하고 농산부산물과 도축 폐기물을 부재료로 부산물비료를 생산할 경우 제조 공정에 따라 여러 화학성에 근거한 기준은 부숙 정도를 가늠하는데 있어서 일치되는 경향을 보이지 않으므로, 이러한 문제점을 극복하기 위해서 모든 부산물비료에서 공통적으로 나타나는 변화를 부숙 정도의 판단 기준으로 이용해야 한다.

본 실험의 결과 양이온치환용량과 부숙화도는 재료나 제조공정의 차이에도 불구하고 모든 제품에서 일정한 경향을 나타내므로 부숙 정도 판단에

있어서 최적의 기준으로 사용할 수 있음을 알 수 있었다. 특히 Fig. 3-10 와 Fig. 3-11에서 알 수 있는 것처럼 양이온치환용량 값은 제품간 큰 차이가 없었으나 부숙화도는 제품간 큰 차이를 나타냈다. 그러므로 양이온치환용량은 제품에 관계없이 부숙화 단계에 적용할 수 있는 동일한 기준을 설정할 수 있으나 부숙화도는 원재료에 따라 초기값과 단계별 및 최종 제품의 수치가 다르게 설정되어야 할 것으로 보여진다. 부숙화도는 초기값을 기준으로 50%이상 증가하므로 원재료의 부숙화도에 대한 자료가 없을 경우 부숙화 정도를 판단하는데 문제가 생기나 양이온치환용량은 원재료의 수치에 관계없이 최종 부숙단계에서 60 cmol kg^{-1} 정도의 값을 나타내었다. 양 (1998)은 농업부산물비료의 품질판정을 위한 기준설정에 관한 연구에서 수피시료의 경우 부숙기간 120일이 경과한 후에도 양이온치환용량이 계속 증가하였으며, 완숙된 수피, 돈분, 계분시료는 양이온치환용량이 각각 87.2, 72, $30 \text{ cmol}(+)/\text{kg}$ 였다고 보고하였다. 또한 부숙도 판정기준으로 부식물질의 평균 CEC를 $150 \text{ cmol}(+)/\text{kg}$ (Stevenson, 1982)로 보고 부산물비료내 부식의 함량을 감안하여 수피와 돈분비료의 양이온치환용량은 $50 \text{ cmol}(+)/\text{kg}$ 이상, 계분비료의 경우는 $30 \text{ cmol}(+)/\text{kg}$ 이상을 제시한 바 있다. 그러나 양이온치환용량 한 가지 특성을 이용하여 부숙 정도를 판단하기에는 어려움이 있으며, 다른 특성들을 고려하여 종합적으로 판단하여야 할 것으로 생각된다.

정리한다면, 부숙화도와 양이온치환용량과 같이 유기물이 부숙과정과 밀접한 관련을 가지는 항목 이외에도 생산 이후의 제품의 품질에 영향을 미칠 수 있는 수분함량에 대한 기준 항목의 설정이 요구된다고 생각된다.

제 4 장 시판 부산물비료 및 부숙단계별 부산물비료의 물리적 특성

제1절 서 설

농업부산물을 퇴비화 과정을 통하여 경작지에 투여하는 기법은 농업폐기물의 처리와 토양비옥도의 증진이라는 두 가지의 순기능을 지닌다. 퇴비의 경작지 투여는 토양의 용적밀도, 수분 유지 능력, 공극율, 입단 안정성 등을 향상시키고 유기오염물질로 오염된 토양의 경우는 미생물의 활성을 증진시킴으로써 유기오염물질의 분해능을 향상시키는 등의 부가적인 효과를 얻을 수 있다. 그러나 퇴비생산의 원료로서 산업폐기물을 사용하거나 아직 부식화가 충분히 이루어지지 않은 퇴비를 경작지에 투여하는 경우 산업폐기물 중의 유해중금속과 미부숙 퇴비의 가스독성, 그리고 미부숙으로 인한 화학성의 불균형 등으로 인하여 작물에 심각한 피해를 유발할 수 있으며, 이러한 문제는 단순히 작물피해에서 멈추는 것이 아니라 토양의 질 악화로 인하여 반영구적인 토양오염의 문제를 일으킬 수도 있다. 특히 미부숙퇴비와 산업폐기물의 투여에 의한 입단의 파괴와 고결화 그리고 이에 따른 토양의 수분보유능과 수리전도도의 악화는 작물생육 뿐만이 아니라 토양침식을 유발하고 농지의 황폐화를 초래한다. 따라서 이러한 퇴비의 역기능을 최소화하기 위해서는 불량 퇴비의 생산을 제약하는 것과 더불어 경작지에 투여되기 전에 효과적인 품질관리가 이루어져야 한다. 그러나 기존의 품질관리 기준은 유기물함량, O.M/N비 그리고 일부 중금속 농도만을 제한하고 있을 뿐이어서 퇴비에 의한 물리성 악화 측면에서는 효과적인 품질관리가 어려울 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 부숙단계별 시료를 대상으로 부숙화 진행에 따른 부산물비료의 점도, 입도, 가비중 등의 물리성을 조사하고, 부숙정도를 판단하는 기준으로 활용하고 있는 화학성과 비교·

분석하고 시판부산물비료를 대상으로 측정된 각 물리성분별 수치의 분포범위를 파악함으로써 부산물비료의 물리성이 부속도를 판정하고 공정규격으로 활용될 수 있는가에 대한 기초자료로 제공하고자 하였다.

제2절 재료 및 방법

1. 재료

제 2장과 제 3장의 시료를 공시재료로 하였다.

2. 방법

가. 점도

1) 회전점도계를 이용한 점도측정

2mm체를 통과한 시료를 증류수와 1:2(w:w)로 혼합하고 1분간 교반 한 후 점도계(Type RV8, Poulten seife & Lee Ltd)를 이용하여 점도값을 측정하였다. 이때 Spindle은 7번을 사용하였으며, 회전속도는 10으로 하였다. 모든 실험은 25℃ 항온기내에서 수행하였다.

2) Ostwald형 모세관점도계를 이용한 상대점도값 측정

모세관 점도계는 일반적으로 점성계수가 낮은 시료의 점도를 측정하는 점도계로서 아래의 Hagen-Poiseuille 의 식 4-1에 의하여 측정한다.

$$\eta = \frac{\pi r^4 t P}{8 L V} \quad \text{식 4-1}$$

이식에서 η 은 점도, r 은 모세관의 반경, p 는 압력차, t 는 유체의 흐르는 시간, L 은 모세관의 길이, V 는 단위시간 내에 흐른 유량을 각각 나타낸다.

이때 압력차(P)는 액체의 평균높이(h), 중력가속도(g) 및 유체의 밀도

(d)에 의하여 결정된다.

$$P = hgd$$

식 4-2

그러나 식 5와 6에 의하여 절대점도(absolute viscosity)를 구하기 위해서는 모세관의 반경, 압력차, 용액의 밀도 등을 정확히 알아야 하므로 일반적으로 측정값으로 사용하고 있는 상대점도를 사용하였다.

본 실험에서는 상대점도의 측정을 위하여 2mm체를 통과한 시료 10g을 취하여 증류수와 혼합(1:5, w/w)하고 이를 항온수조(25℃)에서 150×g로 24시간 교반한 후 용액을 여과(Whatman No.2)시켰다. 여과액 10ml를 피펫으로 취해 Ostwald형 모세관점도계(Cannon Fenske Routine Viscometer, tube capillary No.50)의 저장소에 넣고 액을 시작선(A) 위까지 빨아 올려 액면이 시작선(A)에서 종말선(B)까지 내려가는데 걸린 시간을 측정하고 이를 증류수의 점도값(통과시간)과 비교하여 시료의 상대점도값으로 하였다. 자세한 계산 방법은 식 4-3과 같다.

$$\eta_r = \frac{\eta}{\eta_0} = \frac{\rho t}{\rho_0 t_0}$$

식 4-3

이때, η_r 는 상대점도(relative viscosity)를 나타내며 η 는 용액의 점도, η_0 는 용매의 점도, ρ 는 용액의 밀도, ρ_0 는 용매의 밀도, t 는 용액의 통과시간(초), t_0 는 용매의 통과시간(초)을 각각 나타낸다.

측정시 압력차를 일정하게 하기 위해 점도계의 기울기는 일정하게 유지하였으며, 사용 전 묽은 황산과 알코올로 관 내부를 항상 깨끗이 하였다. 모든 실험은 25℃ 항온 수조내에서 수행하였다(류 등, 1994). Ostwald형 모세관점도계의 구조는 Fig. 4-1과 같다.

나. 색도

색도는 분광색도계(COLOR7200F, Color Techno System Co. LTD)를 이용하여 상대분광반사도를 측정한 후 나타나는 Munsell 표색계와 CIE 표색계로 나타내었다. 각각은 다음과 같이 정의되고 있다.

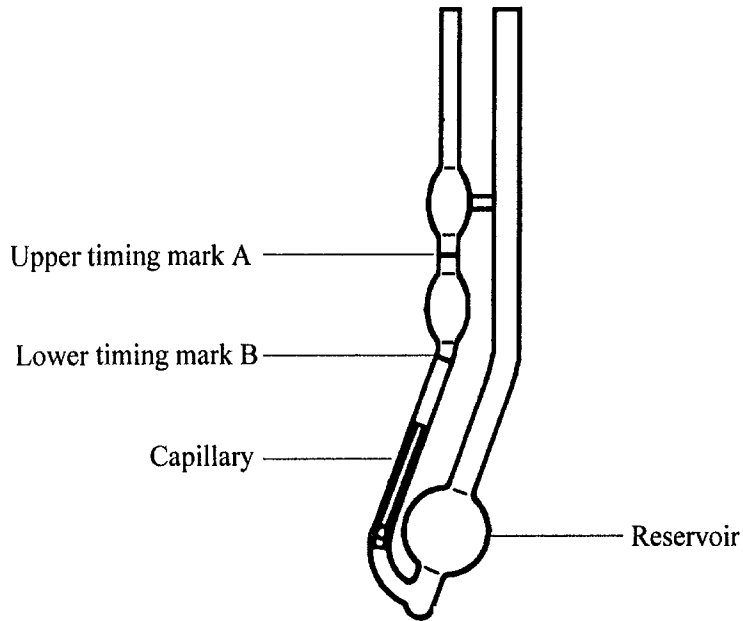


Fig. 4-1. Structure of Capillary Viscometer

1) 상대분광반사도

물체의 색은 그 자체가 색광을 발하는 것이 아니라 다른 광원에서 빛을 받아 일부는 흡수하고 일부는 반사 또는 투과하여 색을 나타낸다. 이러한 색을 물체색(object color)라고 한다, 물체색에서도 표면에서 빛을 반사하여 나타내는 색을 표면색이라 하고 투과해서 나타내는 색을 투과색이라 한다. 착색된 물체에 백색광이 접촉하면 어떤 파장의 빛은 비교적 많이 반사되고 다른 부분은 많이 흡수되는데 백색광 중의 각 파장에 있어서 어떤 물체가 표준 물체에 비하여 몇 %의 빛을 반사하고 있는가를 나타낸 것이 상대분광반사도(relative spectral reflectance)이다. 반사율의 표준으로는 보통 황산바륨분말을 일정한 두께로 압축시킨 면을 사용하고 이것의 반사율을 각 파장에 있어서 100%에 근접된 기준으로 한다. 이때 나타나는 곡선

을 분광반사율 곡선(spectral reflectance curve)이라고 한다(Pomeranz and Meloan, 1994).

2) Munsell 표색계로 표현한 색도

Munsell 표색계는 색의 3속성 즉 색상(Hue), 명도(Value), 채도(Chroma)로 색을 표현하는데, 색상은 적색, 황색, 녹색 등으로 특징되는 빛깔의 속성이며, 명도는 물체표면의 반사율의 대소를 표준물질과 비교하여 흑색을 0, 백색을 10으로 하여 시감각적 등보도로 나누어 판정하는 시감각의 속성이며, 채도는 빛깔의 선명 여부를 말하는데 무채색의 축을 0으로 하여 감각적 등보도로 분할하여 표현된다(Pomeranz and Meloan, 1994).

3) CIE 표색계로 표현한 색도

CIE 표색계는 광의 3원색인 red, green, blue의 가법혼색의 원리를 기초로 발전한 것으로서 색을 Yxy의 3개의 수치로 표현하고 있다. 이때 Y는 반사율에서 명도(degree of lightness)에 대응되고, x와 y는 색도좌표(chromaticity)를 나타낸다(Pomeranz and Meloan, 1994).

4) 색차(ΔE*ab)

색차(color difference, ΔE*ab)는 시료를 표준 백색판 위에 놓고 3회 측정된 평균값을 CIE L, a 및 b로부터 나타내었다. 여기에서 L 값은 색의 밝기를 나타내는 것으로 L=0(black)에서 L=100(white)까지의 값을 가지며, a 값은 색의 적색도를 나타내는 것으로 a=-60(greenness)에서 +60(redness), b 값은 황색도를 나타내는 것으로 b=-60(blueness)에서 b=+60(yellowness)의 값을 나타낸다.

이들 CIE L, a 및 b값으로부터 표준 백색판과의 색차는 아래와 같이 구하였다.

$$\Delta E^* ab = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad \text{식 4-4}$$

여기에서, $\Delta L = L_1 - L_0$, $\Delta a = a_1 - a_0$, $\Delta b = b_1 - b_0$

(이때, L_0 , a_0 , b_0 는 표준 백색판의 값을 의미한다.)

다. 입도지수 측정을 위한 입도분획

2mm체를 통과한 건조시료 10g을 증류수와 1:5(w/w)로 혼합한 후 150×g로 24시간 교반하였다. 이를 35 mesh(0.5mm)체 위에 올려놓고 수중에서 체를 흔들어주며 분별하였다. 세정수가 맑아져서 더 이상 35mesh 체를 통과할 시료가 없다고 판단되면 체 위에 남은 시료는 건조기(80℃)에서 건조시킨 후 그 양을 0.5~2mm의 입도를 가진 것이라 하였다.

35 mesh 체를 통과한 시료는 60 mesh(0.25mm)체 위에 올려놓고 위와 동일한 방법으로 분별하여 체 위에 남은 양을 0.25~0.5mm의 입도를 가진 것이라 하였으며, 60 mesh 체를 통과한 시료는 다시 325 mesh(0.045mm)체 위에 놓고 동일한 방법으로 분별하여 그 양을 0.045~0.25mm의 입도를 가진 것이라 하였다. 각각의 체 위에 남은 건조 시료량을 합산한 후 이를 총량(10g)에서 감하고 남은 양을 325 mesh(0.045mm)보다 작은 입도를 가진 양으로 하였다.

입도지수(particle size index, PSI)는 분석시료의 평균입도를 나타내는 것으로 아래 식 4-5에 의하여 구하였으며 입도지수의 최대값은 0.5~2mm의 입도의 평균값인 1.25이며 최소값은 0.045~0.25mm의 입도의 평균값인 0.02이다.

$$\text{입도지수} = \frac{\sum (\text{입도별 분획량} \times \text{입도별 평균입도})}{\sum (\text{입도별 분획량})} \quad \text{식 4-5}$$

라. 용적밀도 및 입도가중용적밀도 측정

100cc 코어에 부산물비료를 넣어 평판 위에 놓고 3번 정도 가볍게 두드린 다음 다시 빈 공간에 시료를 채우고 절단판(cutting lip)으로 상면을

밀어낸 후 칭량하였다.

이 조작을 3회 이상 수행하여 그 평균을 구하였으며 별도로 시료의 수분을 칭량하여 아래 식 4-6에 의하여 용적밀도를 구하였다(농업과학기술원, 1996). 또한 입도가중용적밀도(particle size weighted bulk density, PWBD)는 식 4-7과 같이 구하였다.

$$\text{용적밀도} = \frac{\text{건조퇴비질량}}{\text{시료의용적}} \quad \text{식 4-6}$$

$$\text{입도가중용적밀도} = \frac{\sum(\text{입도별 분획량} \times \text{입도별 용적밀도})}{\sum(\text{입도별 분획량})} \quad \text{식 4-7}$$

제3절 결과 및 고찰

1. 부속단계별 채취시료의 물리적 특성변화

가. 점도

1) 회전점도계로 측정한 점도

회전형 점도계는 spindle을 시료 내부에 잠기게 하고 일정한 속도로 회전시킬 때 발생하는 torque를 측정하여 점도값으로 환산시키며 이러한 회전형 점도계는 spindle이 회전하여 연속적으로 점도를 측정하므로 장시간에 걸쳐 측정하거나 시간에 따라 점도가 변하는 물질의 점도 측정에 유용하다. 또한, 시료용액의 shear rate(rotation of spindle, RPM)를 일정하게 유지시킬 수 있으므로 뉴턴 유체(newtonian flow)와 비뉴턴 유체(non-newtonian flow)의 측정에 모두 유용하고, Spindle의 회전속도를 변경시켜줄 수 있으므로 비뉴턴 유체의 경우 전단속도(shear rate)의 변화에 따른 점도값의 변화를 측정할 수 있다는 장점이 있다.

교질입자를 함유하는 용액에서는 속도의 기울기가 감소됨에 따라 점도가 증가하는 이상점성을 나타내는데 이를 비뉴턴성 유체라고 한다. 이 비뉴턴성 점성은 교질입자의 구조에 관계되고 있기 때문에 구조점성(structural viscosity)이라고도 부른다. 비뉴턴 점성의 원인이 되는 것은 입자의 배향, 입자의 변형, 입자의 개열(開裂) 및 절단, 용매의 부동화 등을 들 수 있다.

따라서, 부산물비료가 토양에 투입되어 토양의 물리성을 악화시키는 요인이 될 수 있는 부산물비료의 입도, 입자의 형태, 입자와 입자 사이에 작용하는 인력, 토양 투여 후 토양 입자들 사이의 물리적 상호작용 등에 대한 종합적 판단을 위해서는 점도의 측정으로 모든 요인들의 복합적 결과를 얻어낼 수 있는 것이다. 이러한 이유로 새로운 물리성 품질관리 항목으로서의 점도의 이용 가능성을 살피기 위하여 부산물 비료의 점도를 측정하여

그 변화양태와 부산물 비료의 부속도와와의 관련성을 검토한 것이다.

회전점도계를 이용하여 시판 퇴비의 점도를 측정한 결과는 Table 4-1과 같다. 시료의 원료 및 특성에 따라 2,800~201,200 cp(센티포스) 범위의 다양한 점도값을 나타내었다. 이는 용액 중에서의 퇴비 교질입자의 입자특성 즉 입자의 형상, 크기 등의 차이에 기인한 결과라고 생각되지만 이미 부속도의 지표로 활용되고 있는 화학성과는 상관을 보이지 않았다(본 보고서에는 상관에 대한 결과를 나타내지 않았다).

그러나 추후 실험대상을 확대하고 측정방법을 세분화하여 수집된 다양한 정보를 분석하면 회전점도계로 측정한 점도가 부속도의 지표로 활용될 수 있을 것이라 생각된다.

본 실험을 수행하기 위한 사전연구에서(정 등, 1999) 돈분과 계분을 주재료로 하는 몇 가지 부산물비료의 숙성기간에 따라서 회전점도계를 통하여 점도를 측정한 결과에서는 부속이 진행됨에 따라서, 점도가 감소되는 일반적인 경향성을 얻을 수 있었다. 즉 부산물 비료의 부속화 단계별로 점도를 측정한 결과 부속기간과 점도 사이에는 돈분이나 계분을 주원료로 하는 모든 부산물 비료에서 부의 상관을 나타낸 것이다. 특히 점도는 암모니아태 질소와 질산태 질소의 비에 비례함으로써 좋은 지표성을 나타냈다. 그러나, 위와 같이 전국에서 무작위로 추출한 시료들 모두를 대상으로 분석함에 있어서는 일정한 경향성을 파악하기 어려웠다.

단일 시료의 경우에는 확실하게 나타나던 경향성이 모든 시료에 적용했을 경우 경향성을 파악하기 어려웠던 것은 원료의 차이에 따른 점도의 변화폭이 상대적으로 컸기 때문이다. 이러한 차이를 유발시키는 재료는 원재료로 사용되는 축분이 아니라, 부재료로 추가되는 톱밥이나 왕겨 등의 물리적 성질에 의해서 크게 영향을 받는 것으로 생각되었다. 따라서, 회전점도계를 이용한 점도의 측정결과를 전국적으로 운용해야하는 지표로 하려면, 표준화 방법을 고안하지 않으면 안될 것으로 판단되었다.

또한 회전점도계를 이용한 점도의 측정은 점도에 온도가 큰 영향을 미치

기 때문에, 세심한 주의를 요하는 분석절차를 따라야 한다는 점도 지표항목으로 운용하는 데에는 단점으로 작용할 수 있다고 생각된다.

이러한 검토를 바탕으로 현장에서 보다 손쉽게 운용할 수 있는 점도 검사법으로 Ostwald 점도계를 이용하는 방법을 생각하게 되었다.

Table 4-1. The viscosity of organic byproduct fertilizer by rotating viscometer

Sample number	Viscosity (cp)	Sample number	Viscosity (cp)	Sample number	Viscosity (cp)
1	27,800	32	31,100	67	86,100
2	25,600	33	132,400	68	33,800
3	42,600	34	27,300	69	143,800
4	1,700	35	33,900	70	45,200
5	22,600	38	45,500	71	45,400
6	70,400	39	37,800	72	45,200
7	172,500	41	9,500	73	1,800
8	40,300	42	89,500	74	11,900
9	79,300	44	33,500	76	169,700
10	35,400	45	187,300	77	34,700
11	71,600	46	2,800	78	8,200
12	33,800	47	131,600	80	53,400
13	65,800	47	43,300	81	52,100
14	51,200	48	2,700	82	10,900
15	66,700	49	40,200	83	96,100
16	23,500	50	66,700	84	104,700
17	21,700	51	58,600	86	43,900
18	31,700	52	86,800	89	136,200
19	20,500	53	42,900	90	18,500
20	66,100	55	44,200	92	104,300
21	45,600	56	173,000	93	3,100
22	49,200	57	14,200	94	1,300
23	65,000	58	49,500	95	29,800
24	201,200	59	30,800	96	24,600
25	61,200	60	38,900	97	13,400
26	121,300	61	85,200	98	38,500
27	55,900	63	84,500	99	48,400
28	73,400	64	66,400	100	49,100
29	38,500	65	87,300		
31	196,400	66	194,800		

Table 4-2. Relative viscosity of organic byproduct fertilizers measured by capillary viscometer

Sample No.	Main material	Relative viscosity	Sample No.	Main material	Relative viscosity	Sample No.	Main material	Relative viscosity
1	Cow	1.08	21	Pig	1.06	61	Poultry+Pig	1.08
6	Pig	1.23	23	Pig+Cow	1.40	62	Poultry+Pig	1.37
7	Pig	1.05	25	Pig+Cow	1.42	63	Poultry+Pig	1.26
8	Pig	1.56	26	Pig+Cow	1.16	68	Poultry+Pig	1.36
9	Pig	1.35	29	Poultry	1.24	69	Poultry+Pig	1.03
10	Pig	1.50	31	Poultry	1.21	70	Poultry+Pig	1.01
11	Pig	1.01	33	Poultry	1.38	71	Poultry+Pig	1.17
12	Pig	1.47	38	Poultry	1.08	72	Poultry+Pig	1.07
13	Pig	1.13	39	Poultry	1.03	75	Poultry+Pig	1.22
15	Pig	1.02	40	Poultry	1.09	83	Poultry+Pig	1.19
16	Pig	1.29	41	Poultry	1.03	84	Poultry+Pig	1.12
17	Pig	1.05	51	Poultry	1.06	85	Others	1.05
18	Pig	1.27	53	Poultry	1.04	86	Others	1.02
19	Pig	1.04	55	Poultry+Cow	1.03	93	Others	1.02
20	Pig	1.06	59	Poultry+Pig	1.37	100	Others	1.14

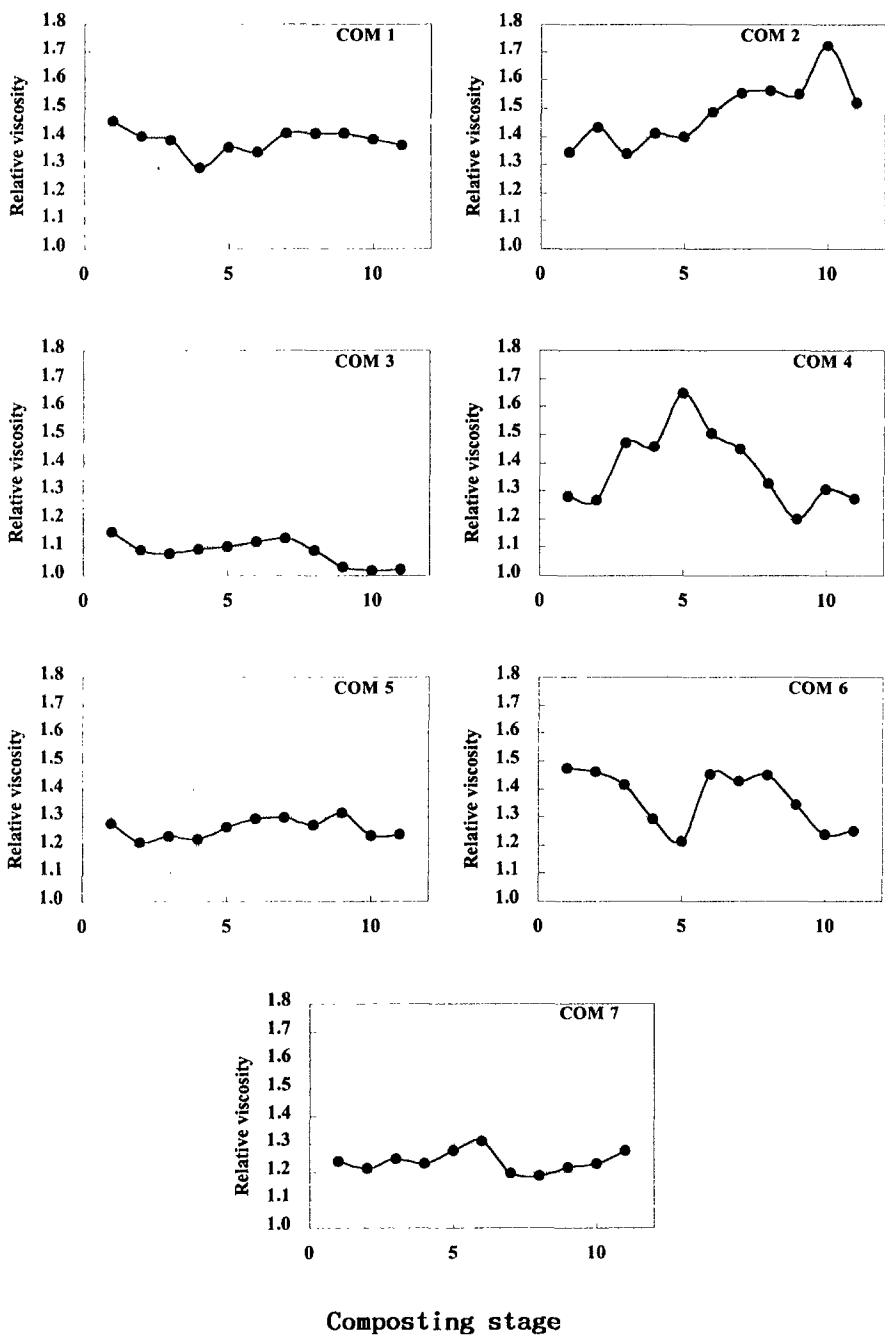


Fig. 4-2. The change of relative viscosity of organic byproduct fertilizers during the composting.

2) 모세관 점도계(capillary viscometer)로 측정한 상대점도

부산물비료의 부속 단계에서 점도에 영향을 줄 수 있는 미립자와 펙틴, 당과 같은 점성 물질의 함량 변화를 알아보기 위하여 물 추출물로부터 모세관 점도계를 사용하여 시판 부산물비료의 상대점도를 구한 값은 Table 4-2와 같다. 전 시료의 상대점도값은 물보다 높았으며 1.01 ~ 1.50의 범위를 보였다.

시료에 따라 상대점도값이 다양하게 나타난 것은 모세관 내에서의 유체 흐름을 저해할 것으로 예상되는 수용성 부식 또는 비부식 물질의 함량과 미세입자량의 차이에 기인한 결과라고 생각된다. 부속 단계별 시료를 대상으로 측정한 상대점도값의 변화는 Fig. 4-2에 나타난 것과 같이 제품에 따라 상이한 결과를 보였는데, 이는 원재료의 종류에 따라 점도가 달라지기 때문으로 추정된다. 이 중 도축폐기물은 부재료로 이용한 COM 2와 COM 4의 상대점도값이 다른 제품보다 높게 나타났는데 이러한 결과는 부속과정에서 점성에 영향을 주는 생체물질이 많이 분해되었기 때문으로 추정된다.

나. 색도

1) 상대분광반사도

공시시료를 대상으로 400nm에서부터 20nm씩 증가시켜 가면서 700nm까지 측정하여 얻은 각 파장별 상대분광반사도를 알아본 결과 모든 시료에서 Fig. 4-3의 A와 같이 파장이 증가할수록 상대분광반사도가 지수적으로 증가하는 경향을 보였으며 분광반사율 곡선은 $Y = a \cdot \exp(bx)$ 식으로 나타낼 수 있었다. COM 3의 부속단계별 시료를 대상으로 상대분광반사도를 측정한 결과 부속이 진행될수록 반사도가 낮아지는 것을 확인 할 수 있었는데 (Fig. 4-3, B), 이러한 경향은 본 연구에서 공시재료로 이용한 모든 부속단계별 시료에서 동일하게 나타났다. 이러한 결과는 부산물비료의 부속화가 진행됨에 따라 일반적으로 색이 짙은 암갈색으로 어둡게 변화되는 과정에

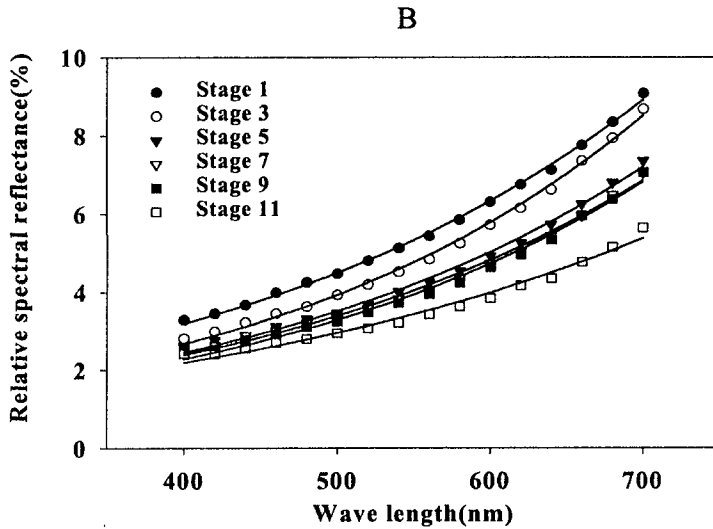
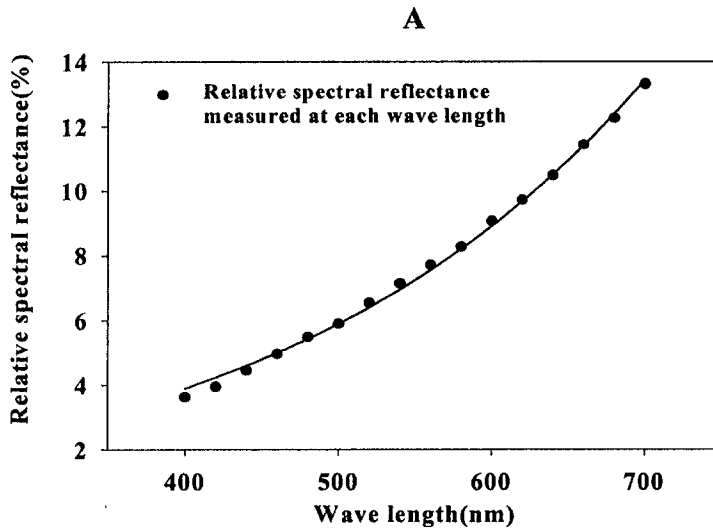


Fig. 4-3. Relative spectral reflectance curve by wave length, A) Relative spectral reflectance of samples measured which was fitted with the equation of $Y = a \cdot \exp (bx)$, B) Change of relative spectral reflectance by composting stage in COM 3.

서 반사율이 지속적으로 낮아지기 때문인 것으로 생각된다. 부숙단계별 시료의 상대분광반사도가 부숙화가 진행됨에 따라 감소하는 경향을 수치화 하기 위하여 400nm와 700nm에서 측정된 상대분광반사도를 부숙단계별로 나타낸 결과는 Fig. 4-4의 A, B와 같으며, 반사율 곡선을 $Y = a \cdot \exp(bx)$ 로 맞추어 얻은 상수 a의 변화를 부숙 단계별로 나타낸 결과는 Fig. 4-4의 C와 같다. 부숙이 진행될수록 감소하는 상대분광반사율을 400nm와 700nm에서의 반사도 만으로도 지표화가 가능할 것으로 보이나, 반사율 곡선을 $Y = a \cdot \exp(bx)$ 식에 맞추어 얻은 상수 a가 400nm에서 700nm까지의 전체 곡선의 경향과 각각의 파장에서의 반사율을 대표하고 있어 정확한 분광곡선의 파악을 위해서는 상수 a를 이용하는 것이 합리적일 것으로 생각된다.

시판 부산물비료의 상대분광반사율을 측정하여 상수 a를 계산한 후 산포도로 나타낸 후 Fig. 4-4의 C에 나타나 있는 부숙단계별 시료의 최종 부숙단계 시료들을 대상으로 측정된 상수 a(0.44 ± 0.18)를 적용한 결과는 Fig. 4-5와 같다. 최종 부숙단계에서 나타난 상수 a의 편차범위의 상한값인 0.62보다 큰 반사도를 갖는 시판 부산물비료가 100개 제품 중 약 40개 제품이 존재하였다. 이러한 결과는 시판 부산물비료의 원료와 첨가물의 다양성으로 인한 것으로 보인다. 실제로 실험과정에서 시판 부산물비료의 일부에서는 석회분 또는 흙가루가 배합되어 있는 것을 확인할 수 있었는데, 결국 이러한 첨가물이 부숙화와는 별개로 부산물비료 제품의 명도를 높게 한 것으로 보인다. 따라서 부산물비료의 부숙도 판정에 유효한 것으로 보고되고 있는 색도는 단일 부숙물질의 숙성과정에 대해서는 설명이 되지만, 원료와 공정을 달리하여 생산되는 모든 부산물비료의 부숙도에 대한 판정 기준을 만들어 낸다는 것이 현재로는 거의 불가능에 가깝다. 따라서, 물리성 평가 기준으로써 상대분광반사도를 적용하기 위해서는 원재료의 관리와 첨가물의 관리가 함께 이루어질 때 가능할 것으로 판단된다.

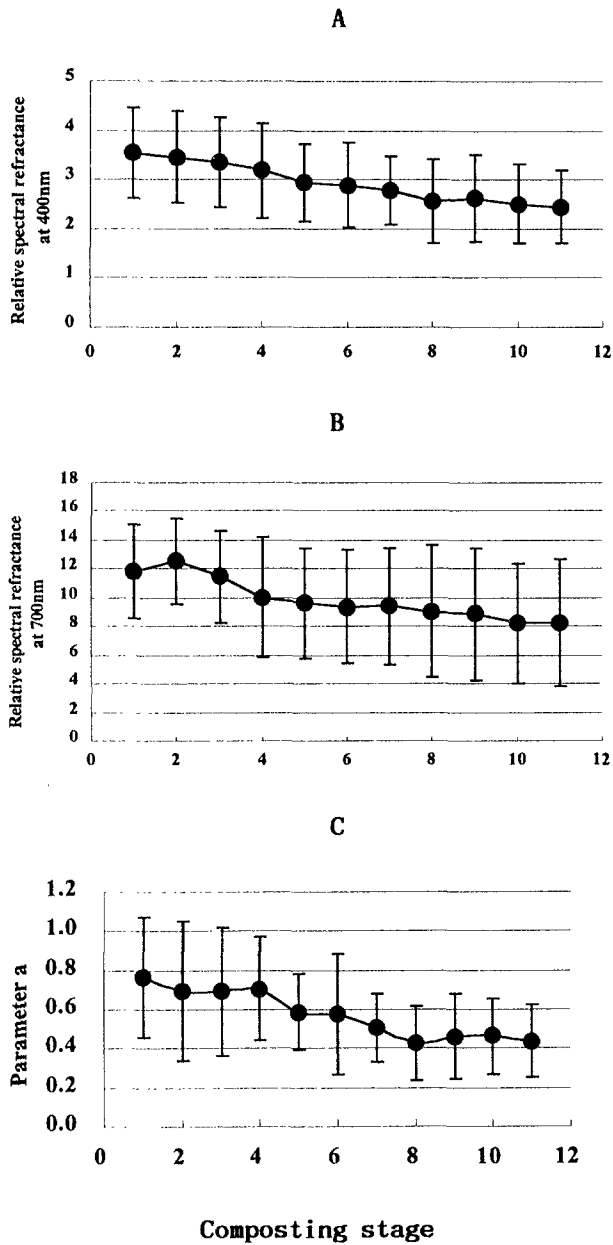


Fig. 4-4. The change of relative spectral reflectance in 400nm and 700nm by composting stage(The vertical bar indicates standard deviation).

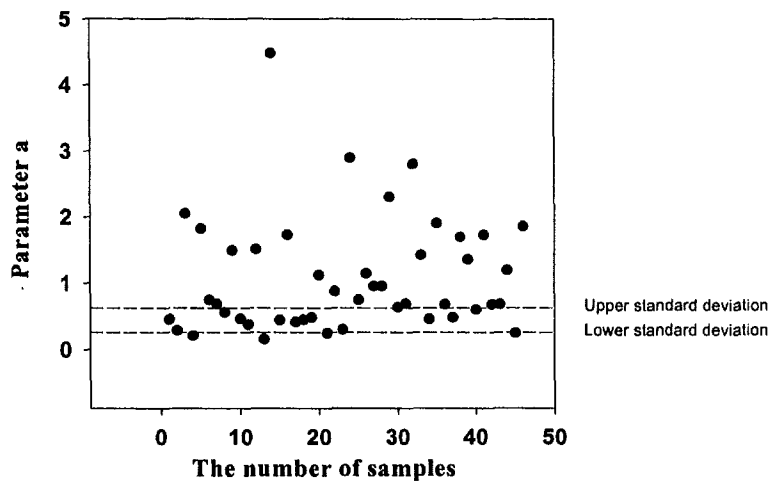


Fig. 4-5. The distribution of parameter a of commercial organic byproduct fertilizer(Mean= 0.44, S.D.= 0.18).

2) Munsell 표색계로 표현한 색도

Table 4-3은 상대분광반사도를 측정하여 나타낸 시판부산물비료의 제품별 Munsell 색좌표이다.

색상은 황색(Y)과 황적색(YR)의 두 가지 색으로 나타났으나 황색(Y)을 띄는 시료가 전체의 93.6%를 차지하는 것으로 나타났다. 명도는 전체적으로는 2~6의 범위를 보였으나, 2이상 3미만의 시료가 44.7%, 3이상 4미만의 시료가 40.4%로 나타나 대부분 2~4의 명도를 보였다. 그리고 채도의 범위는 2.3~5.0이었다

Table 4-4는 부숙단계별 시료를 대상으로 Munsell 색도 좌표를 측정한 결과이다. 모든 제품에서 부숙이 진행될수록 명도값이 줄어드는 경향을 볼 수 있었는데 이는 암갈색을 띄는 부식산의 증가에 의한 것으로 생각된다.

COM 1의 경우 부식산 함량 증가가 뚜렷하게 나타난 제품으로서, 부식산 함량 증가에 따라 명도(value, V)값이 큰 폭으로 떨어져 색이 크게 어두워졌음을 알 수 있었다. 평가된 제품들에서 부숙 초기 명도값의 범위는 제품별로 2.51~3.79이었는데 이는 원재료의 특성에 기인한 결과라고 생각된다.

3) CIE 표색계로 표현한 색도

제품별 Y값(음의 값이 클수록 흑색에 가까움)이 -63.464 ~ -92.433의 범위였으며 전체시료의 97% 이상이 -80이상이었고, -90이상의 값을 가지는 시료도 37%나 존재하였다(Table 4-5).

제품별 부숙 단계에 따른 Yxy값의 변화는 명도를 나타내는 Y값이 부숙이 진행될수록 어두워지는(음의 값이 증가)경향을 보였는데(Table 4-6), 이는 Munsell 표색계의 명도값의 경향과 일치하는 결과로서 이 또한 암갈색을 띄는 부식물질의 함량이 증가하였기 때문으로 생각된다.

Table 4-3. Color characteristics of commercial organic byproduct fertilizers by Munsell notation

Sample No.	Hue	Value	Chroma	Sample No.	Hue	Value	Chroma	Sample No.	Hue	Value	Chroma	Sample No.	Hue	Value	Chroma
1	9.85YR	3.8	4.2	26	1.82Y	3.0	2.7	53	1.52Y	4.5	3.7	78	0.73Y	3.2	3.5
2	0.68Y	2.6	3.2	27	1.55Y	2.8	2.5	54	0.79Y	3.1	3.1	79	1.74Y	3.8	3.3
4	9.61YR	3.1	4.0	28	1.12Y	3.6	3.4	55	1.02Y	3.9	3.5	80	1.18Y	4.1	3.3
5	1.20Y	4.5	4.0	29	1.58Y	3.9	2.9	56	1.11Y	3.0	3.0	81	1.21Y	3.2	2.7
6	1.22Y	3.0	3.0	30	1.03Y	3.3	3.5	57	1.66Y	2.9	2.7	82	1.63Y	3.6	3.1
7	0.68Y	3.5	3.5	31	1.35Y	2.3	2.2	59	1.44Y	2.4	2.5	83	1.11Y	2.7	2.7
8	0.95Y	2.7	2.8	32	1.84Y	4.4	3.4	60	0.56Y	2.6	2.8	85	1.72Y	2.5	2.3
9	1.96Y	3.0	2.6	33	2.34Y	3.4	3.1	61	0.89Y	2.4	2.5	86	1.56Y	2.7	2.4
10	1.16Y	2.3	2.5	34	0.74Y	2.9	3.2	62	0.95Y	2.4	2.5	87	1.46Y	2.6	2.4
11	9.92YR	2.4	3.3	35	2.58Y	3.1	2.5	63	1.75Y	2.8	2.4	88	1.09Y	3.3	3.2
12	1.567Y	3.8	3.3	36	1.43Y	2.4	2.3	64	1.28Y	3.7	3.1	89	1.51Y	3.3	3.1
13	9.84YR	2.5	3.3	37	0.44Y	2.9	3.2	65	1.02Y	4.1	3.1	90	0.98Y	4.2	3.3
14	1.13Y	6.2	5.0	39	1.31Y	3.5	3.0	66	1.55Y	4.2	3.6	91	0.82Y	3.6	3.5
15	0.94Y	2.5	2.7	40	0.98Y	2.4	2.4	67	2.07Y	3.1	2.7	92	0.75Y	3.5	3.5
16	1.75Y	3.1	2.3	41	1.32Y	4.1	3.6	68	1.27Y	2.5	2.4	93	0.84Y	3.2	3.4
17	1.13Y	2.1	2.3	43	1.27Y	2.6	2.6	69	0.78Y	2.4	2.5	94	0.71Y	2.6	2.9
18	0.92Y	2.6	2.9	44	1.06Y	3.0	2.6	70	1.13Y	2.2	2.4	95	1.11Y	2.4	2.4
19	0.77Y	2.7	2.8	45	9.94YR	2.5	3.0	71	1.34Y	3.2	3.3	96	0.92Y	2.9	2.9
20	2.15Y	4.7	4.3	46	1.50Y	4.1	3.5	72	1.16Y	3.5	3.4	97	1.01Y	4.2	4.1
21	9.95YR	2.7	3.3	48	1.46Y	3.8	3.1	73	0.87Y	2.2	2.6	98	0.09Y	2.7	3.3
22	1.82Y	2.7	2.7	49	0.35Y	2.4	3.1	74	1.06Y	4.2	3.8	99	1.24Y	2.5	2.6
23	0.26Y	3.0	3.7	50	1.50Y	3.3	2.9	75	1.42Y	2.8	2.3	100	1.03Y	3.2	3.1
24	0.98Y	5.1	4.5	51	1.77Y	3.6	3.0	76	1.37Y	3.5	3.1				
25	1.34Y	2.9	2.9	52	1.00Y	3.2	3.0	77	1.61Y	2.3	2.6				

Table 4-4. Changes of Munsell notation value, hue, and chroma of organic byproduct fertilizers by composting stage

Composting stage	Com1			Com2			Com4			Com5			Com6			Com7		
	H	V	C	H	V	C	H	V	C	H	V	C	H	V	C	H ¹	V ²	C ³
1	3.87Y	3.39	1.95	3.67Y	2.64	1.55	2.13Y	2.92	2.00	2.38Y	2.98	1.72	1.30Y	2.51	1.96	3.88Y	3.79	2.18
2	3.06Y	2.98	2.16	3.96Y	3.27	1.72	1.65Y	2.73	2.12	2.89Y	3.19	1.66	0.59Y	2.21	1.79	2.82Y	3.65	2.47
3	3.29Y	3.03	2.08	3.21Y	3.39	1.74	2.72Y	3.01	1.90	2.32Y	2.53	1.55	0.21Y	2.23	1.89	3.37Y	3.63	2.31
4	2.69Y	2.86	1.95	3.00Y	2.64	1.45	2.87Y	2.92	1.77	3.26Y	2.23	1.25	1.68Y	1.99	1.35	3.79Y	3.83	2.23
5	2.19Y	2.75	1.98	3.06Y	2.69	1.57	2.28Y	2.70	1.77	1.72Y	2.34	1.51	2.42Y	1.93	1.22	3.23Y	3.66	2.30
6	2.03Y	2.74	1.97	2.02Y	2.32	1.53	1.36Y	2.24	1.64	2.68Y	2.68	1.17	1.41Y	2.02	1.51	2.57Y	3.61	2.34
7	1.71Y	2.69	1.96	2.69Y	2.25	1.31	1.03Y	2.25	1.64	1.96Y	2.44	1.42	1.47Y	2.18	1.62	2.72Y	3.65	2.48
8	1.32Y	2.31	1.75	1.89Y	2.17	1.43	1.10Y	2.15	1.69	1.18Y	2.27	1.64	1.35Y	2.03	1.45	2.92Y	3.78	2.60
9	1.33Y	2.27	1.71	2.70Y	2.31	1.22	0.74Y	2.34	1.82	1.46Y	2.17	1.57	0.79Y	1.80	1.16	2.75Y	3.74	2.52
10	1.26Y	2.22	1.65	1.97Y	2.06	1.19	0.63Y	2.27	1.87	1.68Y	2.23	1.60	2.73Y	1.56	0.82	2.61Y	3.55	2.35
11	0.85Y	2.29	1.79	2.51Y	2.05	1.14	0.38Y	2.20	1.87	1.42Y	2.22	1.64	2.12Y	1.64	0.79	2.18Y	3.57	2.50

¹H: Hue, ²V: Value, ³C: Chroma.

Table 4-5. Stimulus value Y and chromaticity coordinates(x, y) of commercial organic byproduct fertilizers

Sample No.	Y ¹	x ²	y ³	Sample No.	Y	x	y	Sample No.	Y	x	y	Sample No.	Y	x	y
1	-87.952	0.054	0.036	27	-83.542	0.047	0.033	52	-83.224	0.043	0.029	79	-90.278	0.036	0.025
2	-88.139	0.062	0.041	28	-89.354	0.051	0.034	53	-85.500	0.050	0.038	80	-89.023	0.040	0.031
3	-89.815	0.060	0.036	29	-87.139	0.060	0.038	55	-90.979	0.048	0.030	81	-91.988	0.051	0.034
5	-91.293	0.065	0.034	30	-89.410	0.038	0.028	56	-87.721	0.047	0.038	82	-90.836	0.048	0.030
6	-85.410	0.045	0.032	31	-92.077	0.048	0.029	57	-82.978	0.052	0.038	83	-86.501	0.061	0.040
7	-91.626	0.069	0.039	32	-91.711	0.077	0.041	58	-87.968	0.046	0.032	84	-89.866	0.050	0.031
8	-89.356	0.052	0.335	33	-89.127	0.031	0.022	59	-88.408	0.049	0.032	85	-84.948	0.076	0.045
9	-91.549	0.045	0.029	34	-90.868	0.057	0.035	60	-80.783	0.050	0.038	86	-80.232	0.056	0.040
10	-88.765	0.082	0.045	35	-89.715	0.061	0.036	61	-89.182	0.054	0.033	87	-89.593	0.043	0.031
11	-91.398	0.076	0.039	37	-84.543	0.055	0.038	63	-91.066	0.056	0.032	88	-92.153	0.039	0.024
12	-63.464	0.051	0.040	38	-91.801	0.047	0.027	64	-92.433	0.058	0.034	89	-81.070	0.043	0.033
13	-91.289	0.054	0.033	39	-91.806	0.047	0.028	66	-91.203	0.036	0.024	90	-86.921	0.046	0.031
14	-90.668	0.071	0.038	40	-85.927	0.046	0.032	67	-82.639	0.066	0.046	91	-86.203	0.043	0.032
15	-90.404	0.040	0.027	41	-87.088	0.049	0.034	68	-91.210	0.046	0.029	92	-89.774	0.044	0.030
16	-92.370	0.047	0.028	42	-88.535	0.065	0.041	69	-90.689	0.051	0.031	93	-88.655	0.059	0.041
17	-87.274	0.058	0.039	43	-90.939	0.038	0.025	70	-85.461	0.051	0.037	94	-91.101	0.036	0.023
18	-82.976	0.058	0.040	44	-88.638	0.061	0.039	71	-92.526	0.045	0.026	95	-86.519	0.046	0.033
19	-90.555	0.037	0.024	45	-90.962	0.057	0.033	72	-90.670	0.054	0.032	96	-86.965	0.061	0.039
20	-90.647	0.069	0.038	46	-88.276	0.053	0.035	73	-90.512	0.045	0.032	97	-82.295	0.050	0.038
22	-87.950	0.050	0.036	47	-91.188	0.067	0.040	74	-89.386	0.073	0.043	98	-91.433	0.043	0.027
23	-91.517	0.043	0.026	48	-79.041	0.059	0.049	75	-75.349	0.059	0.042	99	-88.690	0.040	0.026
24	-89.781	0.494	0.033	49	-88.927	0.034	0.028	76	-86.647	0.055	0.037	100	-82.287	0.045	0.030
25	-91.797	0.048	0.027	50	-89.211	0.040	0.025	77	-91.806	0.041	0.026				
26	-84.668	0.039	0.028	51	-83.366	0.050	0.037	78	-91.811	0.045	0.026				

¹Y: Stimulus value, ²x, ³y: Chromaticity coordinates.

Table 4-6. Changes of stimulus value Y and chromaticity coordinates(x, y) of organic byproduct fertilizers by composting stage

Composting stage	COM 1			COM 2			COM 4			COM 5			COM 6			COM 7		
	Y	x	y	Y	x	y	Y	x	y	Y	x	y	Y	x	y	Y ¹	x ²	y ³
1	-87.26	0.052	0.041	-90.78	0.046	0.034	-89.42	0.060	0.041	-89.21	0.051	0.034	-91.00	0.065	0.040	-85.02	0.055	0.045
2	-89.21	0.062	0.048	-87.86	0.046	0.036	-90.21	0.067	0.044	-88.29	0.046	0.033	-91.95	0.064	0.036	-85.87	0.065	0.050
3	-89.01	0.059	0.045	-87.19	0.047	0.034	-89.02	0.055	0.040	-90.97	0.049	0.032	-91.87	0.068	0.037	-85.98	0.060	0.048
4	-89.73	0.058	0.042	-90.50	0.044	0.030	-89.43	0.052	0.037	-91.93	0.040	0.027	-92.53	0.049	0.028	-84.78	0.056	0.046
5	-90.17	0.061	0.042	-90.32	0.047	0.033	-90.31	0.055	0.037	-91.60	0.051	0.031	-92.55	0.044	0.027	-85.80	0.060	0.047
6	-90.28	0.061	0.042	-91.59	0.051	0.032	-91.85	0.057	0.034	-90.44	0.035	0.021	-92.44	0.054	0.032	-86.10	0.063	0.047
7	-90.39	0.062	0.041	-91.80	0.043	0.027	-91.83	0.057	0.033	-91.29	0.047	0.028	-92.01	0.057	0.034	-85.87	0.066	0.050
8	-91.70	0.060	0.036	-92.03	0.049	0.030	-92.10	0.060	0.035	-91.81	0.057	0.033	-92.44	0.052	0.030	-85.10	0.068	0.053
9	-91.82	0.059	0.036	-91.62	0.040	0.025	-91.56	0.063	0.037	-92.12	0.055	0.033	-92.99	0.046	0.023	-85.33	0.066	0.050
10	-91.97	0.057	0.034	-92.32	0.041	0.024	-91.77	0.066	0.038	-91.94	0.055	0.034	-93.51	0.035	0.019	-86.45	0.063	0.047
11	-91.75	0.062	0.036	-92.36	0.039	0.023	-91.95	0.067	0.037	-91.96	0.057	0.034	-93.34	0.033	0.016	-86.33	0.068	0.049

¹Y: Stimulus value, ²x, ³y: Chromaticity coordinates.

4) CIE Lab 표색계로 표현한 (ΔE_{ab})

부속단계에 따른 부산물비료의 색차 변화는 Fig. 4-6에 나타내었다. 부속이 진행됨에 따라 ΔE_{ab} 값이 감소하는 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

Fig. 4-7는 시판 부산물비료의 색차값을 산포도로 나타낸 결과로서 Fig. 4-8에서 부속단계별 시료의 분석결과에서 얻은 최종 부속단계에서의 최대 색차값인 32.57을 대입하여 본 결과 2/3의 시료는 이 값보다 작은 값을 보였으나 1/3에 해당하는 시료는 오히려 32.57보다 상당히 큰 값을 보여 시판 부산물비료의 색차를 직접 비교하는 데는 어려움이 있을 것으로 생각된다.

이는 700nm에서 측정된 상대분광반사도의 값의 경우와 마찬가지로 원료의 다양성과 야적시 비료성분으로 첨가해 주는 석회 등의 물질에 의해 비롯되는 것으로 생각되는데 결국, 원료와 첨가물에 관한 규제가 없이는 색차를 부속도를 진단하는 물리성 지표로 사용하기는 어려울 것으로 보인다.

부속도를 평가하기 위해 부속화 과정동안 색변화는 여러 가지 방법으로 평가되어왔다. 색 변화에 대한 여러 가지 측정법은 앞서 언급한 바와 같이 주재료와 부재료 외에 석회, 산업 폐기물과 같은 물질의 첨가로 영향을 받으므로 부적절한 재료의 첨가에 대한 규제가 철저히 이행될 경우 색 변화를 부속도 평가에 이용할 수 있을 것으로 생각된다.

특히 본 연구에서 적용한 여러 가지 평가법 중에서 CIE Lab 표색계로부터 얻어진 ΔE_{ab} 수치의 이용은 백색을 기준으로 나타낸 것이므로 세 가지 수치의 조합에 의해 색의 특성이 나타나는 다른 평가법과는 달리 하나의 값으로 나타낼 수 있어 부속화 정도 차이에 따른 색의 차이를 용이하게 판단할 수 있어 합리적인 것으로 생각된다.

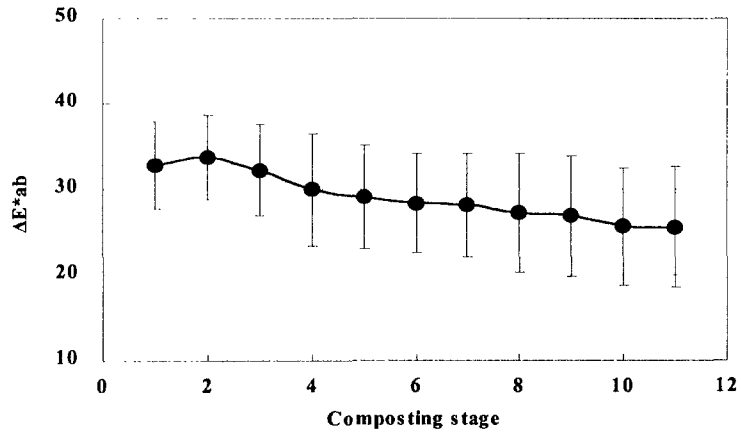


Fig. 4-6. The changes of color difference(ΔE^*_{ab}) during composting(The vertical bar indicates standard deviation).

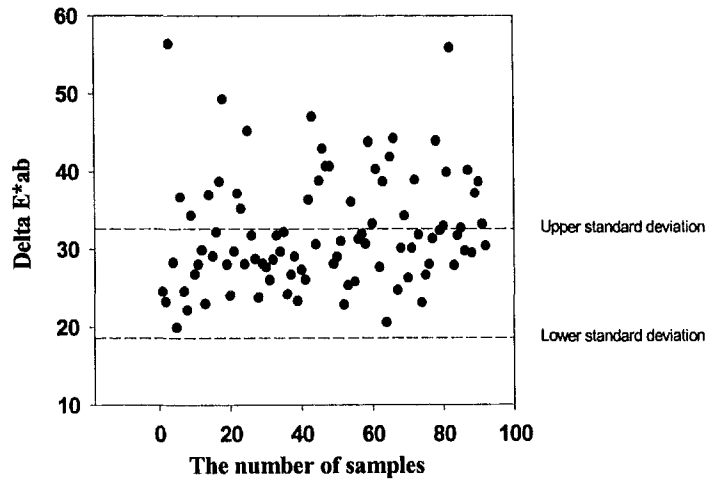


Fig. 4-7. The distribution of ΔE^*_{ab} in commercial organic byproduct fertilizers (Mean=25.58, S.D.=7.00).

다. 입도지수

토양의 물빠짐과 같은 물리적 특성에 영향을 미치는 것은 앞에서 살펴본 점도 이외에 부산물 비료의 입자크기와 형태를 들 수 있다. 부산물 비료의 형태적인 특성상의 문제 때문에 부산물비료 자체의 입도를 토양과 같은 매체에 적용하는 방법으로 입도를 선별 측정하기 어렵다. 따라서, 재료 및 방법에 나타난 바와 같은 절차를 통하여 2mm 체를 통과한 부산물비료를 대상으로 입도지수(particle size index, PSI)를 산출하여 평가 검토하였다. 즉, 여기서의 입도지수는 부산물 비료의 입자들을 세 가지의 크기 범위로 분획하고, 각각의 분획에 중간크기의 입경을 고려하여 계산된 것이다.

입도 지수는 Table 4-7에 나타난 바와 같이 0.54~1.16의 범위의 값을 나타냈는데, 대부분의 제품에서 1이하의 값을 보였다. 이와 같이 입도지수가 다양하게 나타나게 한 원인으로는 (1)원재료의 특성과 (2)부숙화 과정 중의 분해에 관련된 미생물의 활성 차이에 기인한 것이라는 두 가지를 생각할 수 있다.

즉, 부산물 비료를 제조하는 공정에서 수분을 조절하기 위한 수분조절제와 축분들이 호기성 미생물의 작용을 쉽게 받게 하도록 분쇄된 재료를 원료로 이용하는데, 그 분쇄 정도가 제품마다 다르기 때문에 나타난 현상이다. 또, 미생물의 활성이 입자의 표면에서 나타나므로 작은 입도의 입자들이 빨리 없어지고, 큰 입도의 입자들은 느리게 없어지는 속도의 차이에서 기인한 것이라고 생각되는 것이다. 다만, 이렇게 가능하다고 생각되는 원인 중에서 (2)의 미생물에 의한 영향은 바로 다음에서 설명하는 바와 같은 현상을 나타낸 본 실험에서는 받아들이기 힘든 추론이 되었다.

부숙단계별 시료의 입도지수는 Table. 4-8과 같다. 공정 상에서 미생물의 작용으로 부숙이 진행됨에 따라 큰 입자가 분해되고 그 결과 미세입자의 함량이 증가함에 따라 입도지수가 감소 할 것이라는 예측과는 달리 입도지수가 감소되는 경향을 보이지 않았다.

이와 같은 결과는 미생물에 의한 부숙 재료의 분해에 있어서 분해의 우

선 순위가 입자 크기에 따라 결정되는 것이 아니고 입자의 화학적 특성에 따라 분해 미생물의 선호도가 다르기 때문인 것으로 생각된다. 즉 미생물에 의한 분해 과정동안 부산물비료 입자의 주된 성분인 농산물 부재료와 우분 등에 포함된 식물 유래 입자 중 미생물에 의해 분해가 용이한 펙틴이나 비교적 용이한 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스가 분해되더라도 입자의 골격을 이루는 극히 난분해성인 리그닌 등은 남아 입자의 크기는 줄어들지 않은 것으로 사료되었다. Appendix V-1~V-7에 나와있는 것처럼 부숙 단계에 따른 입자별 무게의 변화 경향이 거의 나타나지 않은 것은 본 연구에서는 부숙 단계동안 원재료들의 총중량 감소가 감안되지 않았기 때문이다. 부숙 단계동안 원재료의 중량 감소를 고려하면 이분해성 물질의 우선적 분해에 의한 입자 크기의 감소 영향은 적으나 부산물비료의 입자밀도는 감소되고 이 경우 입자의 크기 분포는 큰 영향을 받지 않을 것으로 추정된다. 이러한 결과는 원료별 부숙화 단계에 따른 미생물 개체군과 활성검정을 조사하고 분획 범위를 좀더 세분화하여 측정하는 연구가 추후 반드시 실행되어야 할 것으로 생각된다.

Table 4-7. Particle size index of commercial organic byproduct fertilizers

Sample No.	Particle size(mm)								PSI ³
	2~0.5		0.5~0.25		0.25~0.045		0.045>		
	Fraction ¹	Av. PS ²	Fraction	Av. PS	Fraction	Av. PS	Fraction	Av. PS	
8	7.09	1.25	1.24	0.38	0.42	0.15	1.26	0.02	0.94
9	5.78	1.25	1.33	0.38	0.54	0.15	2.35	0.02	0.79
10	3.42	1.25	2.49	0.38	3.06	0.15	1.03	0.02	0.57
12	8.21	1.25	0.27	0.38	0.12	0.15	1.40	0.02	1.04
17	4.02	1.25	1.21	0.38	2.85	0.15	1.92	0.02	0.59
18	6.66	1.25	1.14	0.38	0.48	0.15	1.72	0.02	0.89
19	9.19	1.25	0.09	0.38	0.20	0.15	0.51	0.02	1.16
21	5.85	1.25	2.55	0.38	1.24	0.15	0.37	0.02	0.85
23	6.40	1.25	1.42	0.38	0.58	0.15	1.13	0.02	0.86
25	5.04	1.25	2.72	0.38	1.18	0.15	1.06	0.02	0.75
29	6.85	1.25	1.01	0.38	0.87	0.15	1.28	0.02	0.91
31	6.58	1.25	1.88	0.38	0.74	0.15	0.80	0.02	0.91
33	6.34	1.25	1.20	0.38	1.10	0.15	1.26	0.02	0.86
35	6.87	1.25	1.85	0.38	0.90	0.15	0.38	0.02	0.94
41	8.81	1.25	0.57	0.38	0.13	0.15	0.50	0.02	1.12
46	3.74	1.25	1.55	0.38	1.83	0.15	2.88	0.02	0.56
47	5.99	1.25	2.03	0.38	1.41	0.15	0.57	0.02	0.85
51	5.57	1.25	2.48	0.38	1.31	0.15	0.64	0.02	0.81
53	1.96	1.25	1.99	0.38	4.64	0.15	1.41	0.02	0.39
58	5.30	1.25	2.25	0.38	1.41	0.15	1.04	0.02	0.77
59	7.08	1.25	1.57	0.38	0.51	0.15	0.84	0.02	0.95
68	5.86	1.25	1.50	0.38	0.77	0.15	1.88	0.02	0.80
69	7.73	1.25	1.30	0.38	0.55	0.15	0.42	0.02	1.02
70	6.23	1.25	1.77	0.38	1.11	0.15	0.89	0.02	0.86
75	5.26	1.25	0.88	0.38	1.28	0.15	2.58	0.02	0.72
77	6.19	1.25	1.52	0.38	1.18	0.15	1.11	0.02	0.85
83	6.63	1.25	2.03	0.38	0.86	0.15	0.48	0.02	0.92
86	3.69	1.25	1.43	0.38	2.29	0.15	2.59	0.02	0.55
92	7.71	1.25	1.23	0.38	0.32	0.15	0.74	0.02	1.02
93	3.54	1.25	1.97	0.38	2.86	0.15	1.63	0.02	0.56
94	5.74	1.25	1.51	0.38	1.93	0.15	0.83	0.02	0.80
97	4.48	1.25	1.82	0.38	2.02	0.15	1.68	0.02	0.66
100	3.40	1.25	1.63	0.38	3.11	0.15	1.86	0.02	0.54

¹Fraction: gram of fraction/10 gram of byproduct fertilizer, ²Av. PS: Average Particle Size, ³PSI: Particle Size Index.

Table 4-8. The change of particle size index of several commercial organic byproduct fertilizers in proceeding of composting process

Compositing	COM 1	COM 2	COM 3	COM 4	COM 5	COM 6	COM 7
Stage	PSI(Particle Size Index)						
1	0.76	0.92	0.85	0.98	0.83	0.82	0.79
3	0.89	0.82	0.99	0.82	0.95	0.75	0.76
5	0.86	0.83	- ¹	0.82	0.89	0.92	0.77
7	0.84	1.05	1.00	0.72	0.86	0.88	0.76
9	0.86	0.99	1.02	0.73	0.84	0.81	0.76
11	0.79	0.77	1.02	0.74	0.60	0.75	0.81

라. 용적밀도 및 입도가중용적밀도

입도별 분획물의 물리적인 특성을 파악하기 위하여 입도별로 분획하여 얻은 시판부산물비료 시료의 용적밀도와 입도가중용적밀도(Particle size Weighted Bulk Density, PWBD)를 조사 한 결과로서 용적밀도는 0.29~0.84의 값이었으며 입도가중용적밀도는 0.21~0.54 이었다(Table 4-9). 부속단계별 입도가중용적밀도의 변화는 Table 4-10~4-16에 나타내었다. 입도가중용적밀도는 대부분의 제품에서 큰 변화는 없었으나 COM 5와 COM 6에서 부속이 진행됨에 따라 다소 증가하는 경향을 보였다.

이처럼 부속이 증가함에 따라 입도가중용적밀도가 증가한 이유는 난분해성 물질의 함량이 높은 입자가 이분해성 물질의 함량이 높은 입자보다 밀도가 높고 따라서 부속이 진행됨에 따라 난분해성물질 또는 부적합한 첨가물인 광물질을 포함하는 비분해성 함량이 높은 입자들이 주로 남기 때문으로 보여진다. 증가하는 기존의 용적밀도 측정법으로 측정한 용적밀도값과 입도가중용적밀도를 비교한 결과 서로간에 고도의 정의 상관($R^2=0.84$)을 보였다(Fig. 4-8).

용적밀도와 유기물함량, 입도가중용적밀도와 유기물함량간의 상관을 알아보면(Fig. 4-9, 4-16), 용적밀도와 유기물간의 상관($R^2=0.67$)보다 입도가중용적밀도와 유기물함량간의 상관($R^2=0.78$)이 더 높게 나타나 부산물비료의 용적밀도를 평가하는데 입도가중용적밀도를 적용하는 것이 더 바람직할 것으로 생각된다.

Table 4-9. Particle size weighted bulk density of commercial organic byproduct fertilizers.

Sample No.	Particle size fraction(mm)						BD	PWBD ³	OM ⁴ %
	2~0.5		0.5~0.25		0.25~0.045				
	Fraction ¹	BD ²	Fraction	BD	Fraction	BD			
97	4.48	0.43	1.82	0.46	2.02	0.52	0.63	0.46	20.20
41	8.81	0.41	0.57	0.41	0.13	0.73	0.48	0.41	24.40
51	5.57	0.41	2.48	0.40	1.31	0.41	0.54	0.41	25.00
12	8.21	0.43	0.27	0.70	0.12	0.48	0.53	0.44	26.40
75	5.26	0.47	0.88	0.39	1.28	0.60	0.84	0.48	27.80
100	3.40	0.35	1.63	0.42	3.11	0.52	0.63	0.43	28.00
94	5.74	0.38	1.51	0.47	1.93	0.65	0.56	0.45	28.20
46	3.74	0.52	1.55	0.46	1.83	0.65	0.64	0.54	28.60
93	3.54	0.44	1.97	0.49	2.86	0.60	0.75	0.51	30.80
70	6.23	0.41	1.77	0.49	1.11	0.66	0.60	0.46	31.70
53	1.96	0.37	1.99	0.42	4.64	0.56	0.63	0.37	36.30
86	3.69	0.34	1.43	0.34	2.29	0.44	0.51	0.37	39.60
19	9.19	0.35	0.09	0.44	0.20	0.28	0.43	0.35	41.50
29	6.85	0.29	1.01	0.31	0.87	0.37	0.40	0.30	45.80
17	4.02	0.36	1.21	0.38	2.85	0.57	0.59	0.44	45.80
25	5.04	0.33	2.72	0.38	1.18	0.42	0.40	0.36	48.60
31	6.58	0.34	1.88	0.34	0.74	0.41	0.39	0.35	50.50
21	5.85	0.32	2.55	0.46	1.24	0.55	0.40	0.39	50.60
77	6.19	0.39	1.52	0.37	1.18	0.44	0.42	0.39	50.70
35	6.87	0.23	1.85	0.32	0.90	0.41	0.29	0.26	55.80
33	6.34	0.22	1.20	0.35	1.10	0.48	0.30	0.27	57.00
47	5.99	0.33	2.03	0.29	1.41	0.34	0.37	0.32	59.70
58	5.30	0.26	2.25	0.30	1.41	0.32	0.37	0.28	64.30
92	7.71	0.31	1.23	0.34	0.32	0.46	0.37	0.32	64.80
23	6.40	0.26	1.42	0.31	0.58	0.33	0.32	0.27	69.70
8	7.09	0.25	1.24	0.33	0.42	0.42	0.33	0.27	70.60
10	3.42	0.22	2.49	0.25	3.06	0.32	0.36	0.26	71.60
68	5.86	0.22	1.50	0.28	0.77	0.37	0.29	0.25	77.00
18	6.66	0.21	1.14	0.22	0.48	0.22	0.29	0.21	80.30

¹Fraction: gram of fraction/10 gram of byproduct fertilizer, ²BD: Bulk Density, ³PWBD: Particle size Weighted Bulk Density, ⁴OM: Organic Matter.

Table 4-10. The change of particle size weighted bulk density of commercial organic byproduct fertilizers of COM 1 by composting stage

Composting stage	Particle size fraction(mm)						PWBD ³
	2~0.5		0.5~0.25		0.25~0.045		
	Fraction ¹	BD ²	Fraction	BD	Fraction	BD	
1	5.56	0.20	1.34	0.25	0.71	0.31	0.22
3	6.79	0.20	0.84	0.26	0.42	0.34	0.21
5	6.47	0.21	0.92	0.31	0.49	0.29	0.23
7	6.36	0.21	0.96	0.28	0.44	0.28	0.22
9	6.52	0.22	1.00	0.31	0.39	0.28	0.23
11	5.78	0.21	1.33	0.34	0.54	0.32	0.24

¹Fraction: gram of fraction/10 gram of byproduct fertilizer, ²BD: Bulk Density, ³PWBD: Particle size Weighted Bulk Density.

Table 4-11. The change of particle size weighted bulk density of commercial organic byproduct fertilizers of COM 2 by composting stage

Composting stage	Particle size fraction(mm)						PWBD ³
	2~0.5		0.5~0.25		0.25~0.045		
	Fraction ¹	BD ²	Fraction	BD	Fraction	BD	
1	6.87	0.19	1.18	0.24	0.67	1.28	0.28
3	5.76	0.20	2.21	0.27	1.18	0.86	0.30
5	6.04	0.22	1.42	0.26	1.16	1.38	0.38
7	8.15	0.22	0.66	0.30	0.18	1.01	0.24
9	7.52	0.23	1.21	0.29	0.30	0.96	0.26
11	5.38	0.21	1.97	0.28	1.10	1.55	0.41

¹Fraction: gram of fraction/10 gram of byproduct fertilizer, ²BD: Bulk Density, ³PWBD: Particle size Weighted Bulk Density.

Table 4-12. The change of particle size weighted bulk density of commercial organic byproduct fertilizers of COM 3 by composting stage

Composting stage	Particle size fraction(mm)						PWBD ³
	2~0.5		0.5~0.25		0.25~0.045		
	Fraction ¹	BD ²	Fraction	BD	Fraction	BD	
1	6.33	0.21	1.13	0.25	1.03	0.38	0.24
3	7.48	0.19	1.07	0.26	0.68	0.37	0.21
7	7.61	0.26	1.03	0.36	0.62	0.58	0.29
9	7.79	0.23	1.07	0.33	0.42	0.54	0.26
11	7.73	0.22	1.30	0.35	0.55	0.44	0.25

¹Fraction: gram of fraction/10 gram of byproduct fertilizer, ²BD: Bulk Density, ³PWBD: Particle size Weighted Bulk Density.

Table 4-13. The change of particle size weighted bulk density of commercial organic byproduct fertilizers of COM 4 by composting stage

Composting stage	Particle size fraction(mm)						PWBD ³
	2~0.5		0.5~0.25		0.25~0.045		
	Fraction ¹	BD ²	Fraction	BD	Fraction	BD	
1	7.40	0.20	1.37	0.25	0.46	0.77	0.24
3	5.78	0.23	2.18	0.25	0.74	1.30	0.33
5	5.85	0.22	1.85	0.24	0.94	1.36	0.35
7	4.87	0.23	2.29	0.25	1.11	1.73	0.44
9	4.76	0.22	2.94	0.26	1.24	1.06	0.35
11	4.89	0.24	3.03	0.27	1.11	0.98	0.34

¹Fraction: gram of fraction/10 gram of byproduct fertilizer, ²BD: Bulk Density, ³PWBD: Particle size Weighted Bulk Density.

Table 4-14. The change of particle size weighted bulk density of commercial organic byproduct fertilizers of COM 5 by composting stage

Composting stage	Particle size fraction(mm)						PWBD ³
	2~0.5		0.5~0.25		0.25~0.045		
	Fraction ¹	BD ²	Fraction	BD	Fraction	BD	
1	5.91	0.24	1.97	0.24	0.80	1.33	0.34
3	7.16	0.35	1.29	0.30	0.55	1.01	0.38
5	6.48	0.36	1.65	0.30	0.90	0.98	0.41
7	6.30	0.36	1.63	0.30	0.93	1.16	0.43
9	6.03	0.35	1.88	0.30	1.03	1.06	0.42
11	4.06	0.35	1.62	0.31	1.96	1.55	0.65

¹Fraction: gram of fraction/10 gram of byproduct fertilizer, ²BD: Bulk Density, ³PWBD: Particle size Weighted Bulk Density.

Table 4-15. The change of particle size weighted bulk density of commercial organic byproduct fertilizers of COM 6 by composting stage

Composting stage	Particle size fraction(mm)						PWBD ³
	2~0.5		0.5~0.25		0.25~0.045		
	Fraction ¹	BD ²	Fraction	BD	Fraction	BD	
1	5.91	0.21	1.81	0.24	0.70	0.24	0.22
3	5.10	0.24	2.75	0.25	0.81	0.30	0.25
5	6.76	0.31	1.83	0.30	0.32	0.33	0.31
7	6.36	0.26	1.92	0.31	0.48	0.36	0.28
9	5.68	0.29	2.45	0.32	0.65	0.34	0.30
11	5.04	0.33	2.72	0.38	1.18	0.42	0.36

¹Fraction: gram of fraction/10 gram of byproduct fertilizer, ²BD: Bulk Density, ³PWBD: Particle size Weighted Bulk Density.

Table 4-16. The change of particle size weighted bulk density of commercial organic byproduct fertilizers of COM 7 by composting stage

Composting stage	Particle size fraction(mm)						PWBD ^d
	2~0.5		0.5~0.25		0.25~0.045		
	Fraction ¹	BD ²	Fraction	BD	Fraction	BD	
1	5.68	0.22	1.55	0.22	0.93	0.24	0.22
3	5.41	0.22	1.84	0.24	1.02	0.27	0.23
5	5.46	0.24	1.78	0.25	0.89	0.26	0.24
7	5.40	0.23	1.94	0.25	0.86	0.27	0.24
9	5.48	0.25	1.71	0.27	0.69	0.27	0.26
11	6.00	0.25	1.15	0.26	0.93	0.25	0.25

¹Fraction: gram of fraction/10 gram of byproduct fertilizer, ²BD:

Bulk Density, ³PWBD: Particle size Weighted Bulk Density.

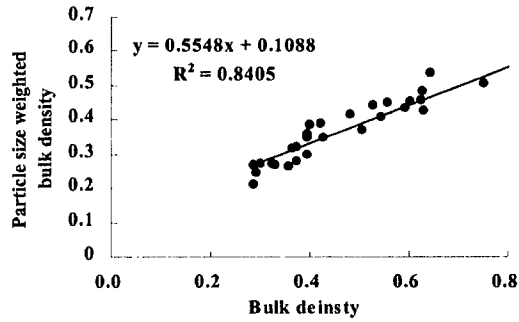


Fig. 4-8. The correlation between bulk density and particle size weighted bulk density in commercial organic byproduct fertilizers($R^2=0.67^{**}$).

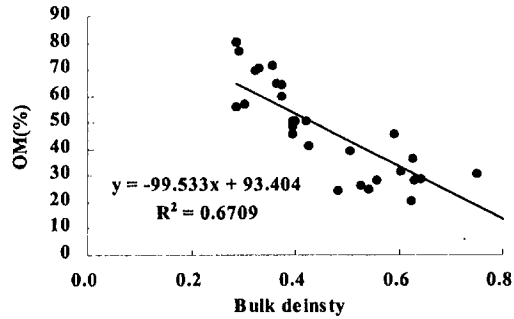


Fig. 4-9. The correlation between organic matter content and particle size weighted bulk density in commercial organic byproduct fertilizers($R^2=0.67^{**}$).

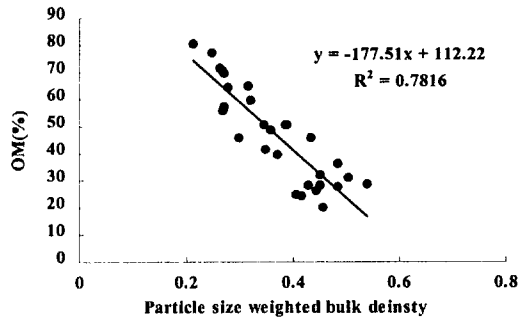


Fig. 4-10. The correlation between organic matter content and particle size weighted bulk density in commercial organic byproduct fertilizers($R^2=0.78^{**}$).

제 5 장 부산물비료의 시용이 토양의 물리성에 미치는 영향

제1절 서 설

토양에서의 물빠짐은 주어진 물의 특성 외에 토성과 지하수위 등의 환경 조건에 크게 영향을 받는다. 밭토양은 배수가 불량할 때 작물의 생육을 해 치지만 과습하지 않는 한 작물에 필요한 수분량이 공급되어야 하며 논외의 경우에도 담수한 물이 전혀 침투되지 않는 경우 토양의 환원이 크게 진행된다. 이러한 경작지의 배수특성에 있어 최근에는 투여되는 유기물의 공급 원이 관심이 되고 있으며, 실제 불량 퇴비를 시용한 경우 토양의 물리성 악화에 따른 투수성의 경감으로 작물생육이 저해 받은 농가피해사례가 나타나기도 하였다.

작물생육과 연계된 토양의 투수성에는 공극의 구조 및 형태와 토양 입자의 배열이 중요한 영향을 미치며 보다 나은 작물생육을 위해서는 양호한 입단구조가 형성되어야 한다. 따라서 퇴비가 투여된 토양의 내수성 입단화도를 측정함으로써 그 토양의 입단형성상태를 파악해야하며 용적밀도를 통해 토양의 고상/액상/기상의 비율을 결정함으로써, 공기의 유통이나 물의 저장능력을 평가할 수 있다.

따라서 본 실험에서는 부속단계별 퇴비를 이용하여 칼럼 내 토양의 포화 투수계수를 측정함으로써 토양과 퇴비의 충전방법, 부속단계별 퇴비의 용적밀도와 입도에 따른 수리전도도의 변화특성을 연구하고자 하였다. 또한 수집 시판 퇴비를 대상으로 이미 그 값을 밝힌 점도와 암모니아태/질산태 질소비를 분석함으로써 토양에 투여한 후 입단화도 및 토양 가비중에 비교적 큰 영향을 미칠 것으로 예상되는 일부 시료를 선정하였다. 이를 공시토양에 투여함으로써 경시적으로 나타나는 내수성 입단화도와 용적밀도의 변

화특성 그리고 이에 따른 토양의 infiltration rate을 측정·분석함으로써 토양의 물리성을 악화시키는 원인을 구명함과 동시에 퇴비의 물리성 기준 제안에 있어서의 기초자료로 활용하고자 하였다.

제2절 재료 및 방법

1. 재료

시판 부산물비료 및 부숙단계별 시료를 공시시료로 하였다.

2. 방법

가. 포화 수리전도도의 측정

1) 부숙단계별 포화수리전도도 측정

실험에 사용한 토양은 모래 41%, 미사 23%, 점토 36%의 입자 크기 분포를 가진 식양토(clay loam)였다. 입도분석은 pipette법으로 하였으며 토성은 미농무성법으로 분류하였다.

부산물비료의 처리는 시료와 토양을 1:34(wt/wt)의 비율로 혼합하여 지름 4.3cm, 높이 24cm의 아크릴재질의 칼럼에 충전하였다. 충전 후 24시간 동안 수도물을 하단 관수하여 시료를 포화시켰으며, 이후 토양을 포화시킬 정도의 액량을 8시간 간격으로 6회 상단 관수함으로써 토주를 안정화시켰다. 이후 다시 한번 하단 관수하여 포화시킨 후 사이펀(siphon)을 연결하여 수두차(h)를 23cm로 유지하면서 포화 수리전도도를 측정하였다. 수리전도도의 측정은 신뢰도를 높이기 위하여 각 처리별로 5번 측정한 후 평균값을 산출하였다. 이때 전 실험과정을 통해 수도물을 사용하였다.

2) 입도분획 시료의 포화 수리전도도 측정

실험에 사용한 토양은 1mm체를 통과한 사양토(sandy loam)였으며, 입자 크기 분포는 모래 77%, 미사 8%, 점토 15%이었다. 포화 수리전도도의 측정은 4.2.1.1의 측정방법과 동일하나 입도분획별 포화수리전도도의 경우 지름 3.6cm, 높이 18cm의 칼럼을 사용하였으며 수두차는 17cm로 유지하였다.

사용량은 5개 수준으로 토양 100g에 1, 3, 5, 7 그리고 9g 씩을 혼합하였다.

포화 수리전도도는 Darcy의 법칙(식 5-1)에 준하여 계산하였다.

$$K_{sat} = \frac{Q}{A} \times \frac{l}{h} \quad \text{식 5-1}$$

이때, K_{sat} 는 포화수리전도도($\text{cm} \cdot \text{sec}^{-1}$)이며, Q 는 단위시간당 매체를 통과한 물의 유출량($\text{cm}^3 \text{sec}^{-1}$), A 는 물이 통과하는 매체의 전체 단면적(cm^2), l 은 물이 통과하는 토양의 두께(cm), h 는 수두차(cm)를 나타낸다.

나. 불포화 수리전도도의 측정

1) 숙성시료의 준비

부산물비료의 사용이 토양의 물리적 특성변화에 미치는 영향을 조사하기 위하여 국내 시판 부산물비료 중, 유기무함량, 점토, 암모니아태 질소와 질산태 질소의 비율 등을 고려하여 각 특성들의 높고 낮음이 고르게 분포되도록 한 12개의 부산물 비료를 시료로 선발하여 공시토양에 혼합하고 1999년 7월 12일 고려대학교 교내 실험포장에서 숙성을 시작하였다.

실험에 사용한 토양은 사양토(sandy loam), 식양토(clay loam), 사질식양토(sandy clay loam)의 3종류였으며 각 토양의 입자 크기 분포를 보면 사양토는 모래 77%, 미사 8%, 점토 15%로 되었고 식양토는 모래 41%, 미사 23%, 점토 36%이며 사질식양토는 모래 53%, 미사 24%, 점토 23%로 이었다. 부산물비료의 사용량은 $5 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$, $15 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 그리고 $30 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 의 3수준이었다. 노지에서 숙성을 위한 방법은 다음과 같다. 즉, PVC원통(직경:15cm, 높이:20cm)을 표면을 고르게 다진 포장 위에 놓고 먼저 모래를 10cm깊이로 깔아 수분이동을 원활히 한 다음에 시료를 혼합한 토양 2.0kg을 충전 한 후 1년간 숙성시켰다.

2) 디스크-장력 침투계를 이용한 불포화 수리전도도의 측정

불포화 수리전도도는 디스크-장력 침투계(SMS Co. LTD)를 이용하여 측정하였다(Logston and Jaynes, 1993; Ankeny *et al.*, 1991).

직접적인 측정에 앞서 초기 수분함량의 영향을 최소화하고 측정치의 재현성을 높이기 위하여 1cm의 수두로 약 15분간 물을 흘려 포트를 포화시켰으며 토양표면으로의 유거를 막기 위하여 반지름 4.5cm, 높이 1cm의 PVC관을 0.5cm 깊이로 토양에 삽입한 후 1mm 체를 통과한 모래를 채운 후 셀룰로오스막(air entry value: -25~-30cm)으로 봉한 디스크를 그 위에 잘 밀착시킨 후 측정을 시작하였다. 측정시 디스크-장력 침투계의 내부공급장력(supply tension)은 각각 -0.5cm, -3.5cm, -6.5cm로 하였으며, 측정시간은 1,200초였다.

디스크-장력 침투계는 지표면 부근의 불포화대 수리 특성을 조사하기 위해 고안된 것으로 위의 방법으로 측정한 침투유량으로 불포화수리전도도, 포화수리전도도, 토양의 미세공극 모관수길이, 수축도(sorptivity) 등을 결정할 수 있다. 이때 이용되는 관계식은 Wooding(1968)의 식을 기초로 하여 단위면적당 정상류에서 토양으로의 침투율을 추정하는 식 5-2이다

$$Q = \pi r^2 K \left[1 + \frac{4}{\pi r \alpha} \right] \quad \text{식 5-2}$$

여기에서 Q 는 단위시간당 토양으로 침투한 수분의 부피($\text{cm}^3 \cdot \text{hr}^{-1}$), K 는 불포화수리전도도($\text{cm} \cdot \text{hr}^{-1}$), α 는 수분이 침투한 모세관의 길이의 역수(cm^{-1}), r 는 침투계에서 침투수면의 반경(cm)을 나타낸다. 또한 Gardner(1958)는 토양이 다져진 상태에서 수리전도도는 토양 매트릭포텐셜에 대해서 지수함수적으로 표현할 수 있다고 가정하고 식 5-3을 제안하였다.

$$K(h) = K_{sat} \exp(ah) \quad \text{식 5-3}$$

여기서 $h(\text{cm})$ 는 토양 또는 침투계 내의 수분장력을 나타내고, K_{sat} 와 $K(h)$ 는 각각 포화 수리전도도와 불포화 수리전도도를 나타낸다. 이 때

식 5-3를 식 5-2에 대입하여 풀면 식 5-4를 구할 수 있으며, 식 5-4와 5-5을 통하여 두 가지 수분장력(h_1 과 h_2)하에서 측정한 침투유량을 측정함으로써 α 는 식 5-6과 같이 구해지며, 이렇게 구한 α 와 K_{sat} 를 가지고 식 5-3에 대입하여 주어진 수분 장력에서의 불포화 수리전도도의 추정이 가능하다.

$$Q(h_1) = \pi r^2 K_{sat} \exp(ah_1) \left[1 + \frac{4}{\pi r \alpha} \right] \quad \text{식 5-4}$$

$$Q(h_2) = \pi r^2 K_{sat} \exp(ah_2) \left[1 + \frac{4}{\pi r \alpha} \right] \quad \text{식 5-5}$$

$$\alpha = \frac{\ln[Q(h_2)/Q(h_1)]}{h_2 - h_1} \quad \text{식 5-6}$$

3) 용적밀도와 내수성 입단화도의 측정

토양을 100cc 코아로 채취하여 용적밀도를 측정하였으며, 내수성 입단화도는 0.5mm, 0.25mm 체를 이용하여 토양 일정량을 24시간 물 속에 침지 한 후 이를 물 속에서 체별하여 남은 양을 다시 붓으로 비벼 체별 한 후 건조로 환산하여, 0.5mm이상, 0.25~0.5mm 크기의 내수성 입단화도를 계산하였다.

다. 재배실험

부산물 비료(퇴비)를 토양에 투입하여 자원화 하는 경우 이들이 토양에 미치는 유용한 영향은 각종 무기영양소와 수분을 토양에 지속적으로 공급하며 토양의 물리적, 화학적, 생물학적 활성을 증가시켜 작물생육에 유익한 환경을 만들어 주는 것이다(Stevenson, 1982). 특히 화학비료의 사용과 더불어 유기질 비료를 적정량 사용하는 경우 토양의 양분 보유능은 물론 토양의 유실방지를 통해 수계환경으로의 오염원의 유입을 방지하여 준다. 따라서 이러한 실험하에서 적절한 부산물 비료를 선별하는 작업은 필수적이라 할 수 있다.

이에 주원료를 달리하는 국내 대표적 시판퇴비와 시판퇴비의 부속단계별 이 화학성에 따라 식물체에 미치는 영향은 매우 다양할 것으로 판단되어 상추를 대상으로 재배실험을 수행하였다. 재배작물로는 상추를 공시하고 유기물함량이 낮은 미사질식양토에서 각각의 부산물비료를 20Mg/ha의 시비율로 처방하였다. 2달간 재배한 후 상추의 성장량을 파악하기 위하여 생중량을 측정하였다.

제3절 결과 및 고찰

1. 포화투수계수

가. 칼럼충진 방법에 따른 포화수리전도도 차이

부산물비료 시용시 토양의 수리전도도변화를 측정하기 위하여 먼저 칼럼 충진 방법에 따른 포화수리전도도의 변화를 조사하였다.

부속단계별 시료를 혼합하여 제조한 각각의 토양을 칼럼에 충진 시킨 후 모든 칼럼내 토양의 용적밀도를 1.2 g cm^{-3} 으로 맞추어 정수위법으로 측정 한 부속단계별 포화수리전도도의 변화를 무처리 토양의 포화수리전도도와 비교한 결과는 Fig. 5-1과 같다. 부속단계별 시료를 혼합하여 제조한 각각의 토양을 칼럼에 충진 시킨 후 인위적으로 용적밀도를 조절하지 않고 먼저 하단관수하여 토양을 포화시킨 후 증력수가 빠져나가게 24시간 방치한 후 토양이 포화될 정도의 물을 8시간 간격으로 6회 상단관수하여 토주를 자연적으로 안정화시키는 방법을 채택하여 측정한 부속단계별 포화수리전도도의 변화를 무처리 토양의 포화수리전도도와 비교한 결과는 Fig. 5-2와 같다. 용적밀도를 1.2 g cm^{-3} 로 조정된 경우는 모든 부속단계에서 무처리구보다 오히려 부산물비료 시용구의 포화수리전도도가 낮게 나타나, 유기물의 시용으로 토양의 용적밀도가 낮아지게 되고 포화수리전도도가 향상된다는 일반적인 연구결과와 상반되는 결과를 보였다(Fig. 5-1).

이는 부산물비료를 혼합할 경우 무처리구에 비해 상대적으로 토주의 높이가 높아지게 되는데도 불구하고 모든 처리구에서 1.2 g cm^{-3} 의 용적밀도를 맞추기 위해 토주를 동일하게 하는 과정에서 토양의 다져지는 정도 (compaction)가 차이 났기 때문으로 생각된다. 따라서 이후 포화수리전도도 측정 시 상단관수 통하여 토주를 안정화시키는 방법을 채택하였다

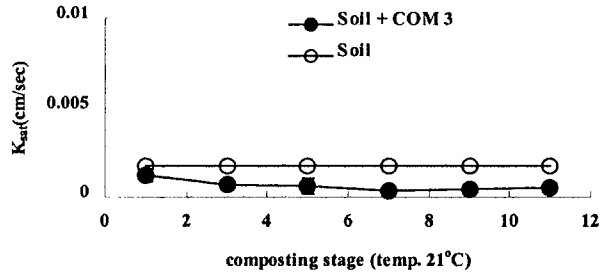


Fig. 5-1. The change of saturated hydraulic conductivity in column compacted with bulk density of 1.2g/cm^3 .

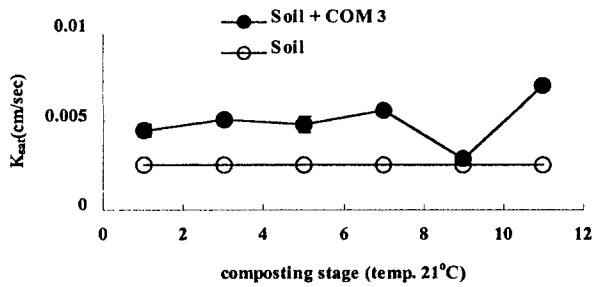


Fig. 5-2. The change of saturated hydraulic conductivity in column compacted with stabilization by water elution.

나. 포화수리전도도에 대한 부속 단계가 다른 부산물비료 시용 효과
 제품별 부속단계에 따른 토양의 포화수리전도도 변화는 Fig. 5-3과 같다. Fig. 5-2에 나와있는 무처리 토주의 포화수리전도도와 비교해보면 부속단계에 관계없이 포화수리전도도는 부산물비료의 시용에 의해 높아졌다. 그러나, 부속화 진전에 따른 변화를 살펴보면, COM 4, COM 5 그리고 COM 6은 부속화에 따라 증가하는 경향을 보였고, COM 1, COM 3 그리고 COM 7은 경향을 보이지 않았으며, COM 2는 오히려 감소하는 경향을 보여 전체적으로는 일정한 경향을 보이지 않았다.

이는 Table 4-8에 나타났듯이 부속이 진행되어도 포화수리전도도에 영향을 미치는 입도지수가 일정한 경향을 보이지 않았기 때문으로 생각된다.

부속단계별 시료를 부여한 경우는 포화수리전도도의 변화가 뚜렷하지 않았으나 부산물비료의 시용에 따른 포화수리전도도의 증가는 나타났다. 부속정도에 따른 차이가 거의 나타나지 않은 것은 포화수리전도도가 부산물비료 시용 후 유기물의 분해 과정에서 무기화에 관여하는 사상균의 균사나 폴리우로니드 등에 의해 일어나는 유기물 산물의 접착력에 의한 토양의 입단이 형성되지 않았기 때문인 것으로 생각된다.

더욱이 미부속 부산물비료 시용이 완속 부산물비료에 비해 입단 촉진 정도가 크므로(조 등, 1995; Browning and Milam, 1944) 토양을 숙성시키지 못한 칼럼 실험에서 유기물 부속 정도의 차이가 나타나기는 힘들 것으로 보여진다. 그러므로 부산물비료 시용 후 숙성이 안된 상태에서 토양의 투수성은 시용 후 공극 형태의 변화에만 영향을 받았기 때문으로 보여진다.

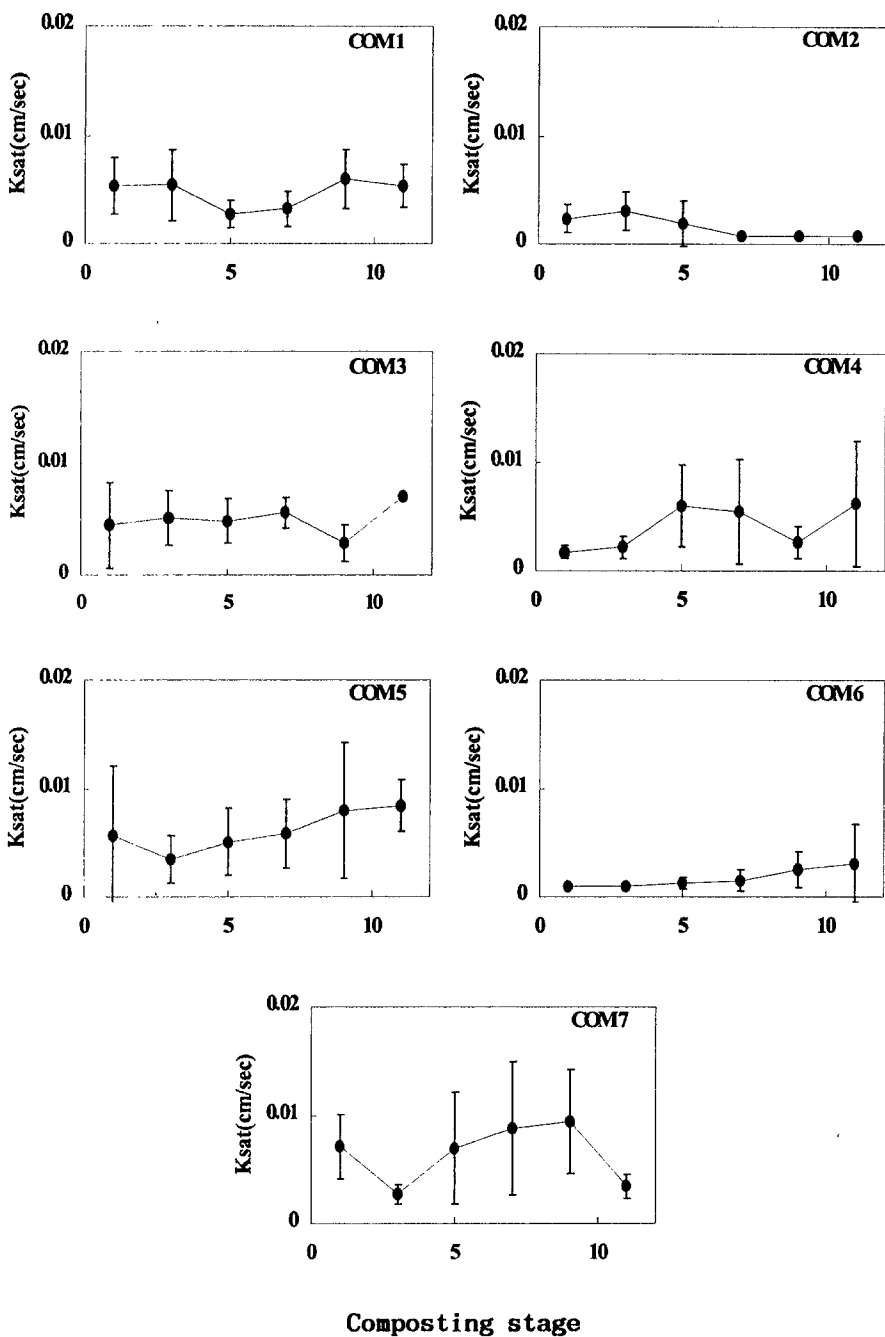


Fig. 5-3. The changes of saturated hydraulic conductivity in clay loam amended with organic byproduct fertilizer by composting stage.

다. 부산물비료의 입도가 토양의 포화수리전도도에 미치는 영향

시판 부산물비료로부터 분획하여 얻은 각각의 입도별 분획물을 토양에 사용량을 증가하면서 처리한 후 측정된 수리전도도의 변화양상은 Fig. 5-4와 같다. 부산물비료의 입도에 상관없이 사용 후 모든 처리구에서 포화수리전도도가 양호해졌으며, 본 실험의 사용량 범위 안에서는 모든 사용 수준에서 무처리 < 0.5~2mm < 0.045~0.25mm < 0.5~0.25의 순으로 포화수리전도도가 높게 나타났다. 특히 0.25~0.5mm 크기의 입도분획물을 사용하였을 경우 다른 처리구에 비해 사용량에 따른 포화수리전도도의 증가 정도가 가장 컸다. 이 결과는 본 실험이 비록 공시토양을 사양토로 한정하였으며, 포장실험이 아닌 칼럼실험이었다는 제약요건이 있기는 하지만, 부산물비료의 사용시 포화수리전도도는 부산물비료의 입도에도 영향을 받는다는 것을 시사하는 것이다.

입도별 분획물의 사용량을 증가하여 처리한 토양의 용적밀도 변화는 Fig. 5-5에 나타난 바와 같이 입자 크기에 관계없이 부산물 비료의 사용량에 따라 무처리에 비해 용적밀도는 감소하였다. 이러한 결과는 상대적으로 입자밀도가 낮은 유기물의 사용에 의해 토양의 용적밀도가 감소되었기 때문이다.

각각의 입도별 분획물을 부산물비료의 입도분포 범위 안에서 일정한 비율로 혼합하여 토양에 사용한 경우 혼합비에 따른 포화수리전도도는 Fig 5-6과 같이 처리량뿐만 아니라 크기가 다른 입자들의 조성에 의해서도 영향을 받는 것을 보여주고 있다. 이중 가장 큰 0.5~2mm 크기의 입자 혼합량이 증가할수록 포화수리전도도는 증가하였으며, 0.5~2mm 크기의 입자 투입량이 동일하게 고정시킨 경우, 0.25~0.5mm 크기의 입자가 첨가되는 양이 증가할수록 포화수리전도도가 급격히 증가함을 보였다. 이 증가폭은 0.5~2mm 크기 입자의 혼합량 증가에 비해 훨씬 그 정도가 크게 나타났다.

결과적으로 0.25~0.5mm의 입자가 수리전도도의 증가에 가장 큰 역할을 하는 것을 알 수 있었다

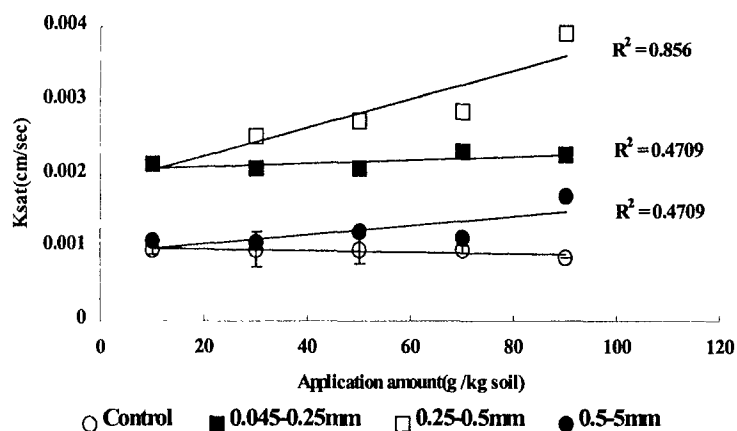


Fig. 5-4. The change of saturated hydraulic conductivity according to the application amount of particle size fractions of organic byproduct fertilizer classified with diameter size.

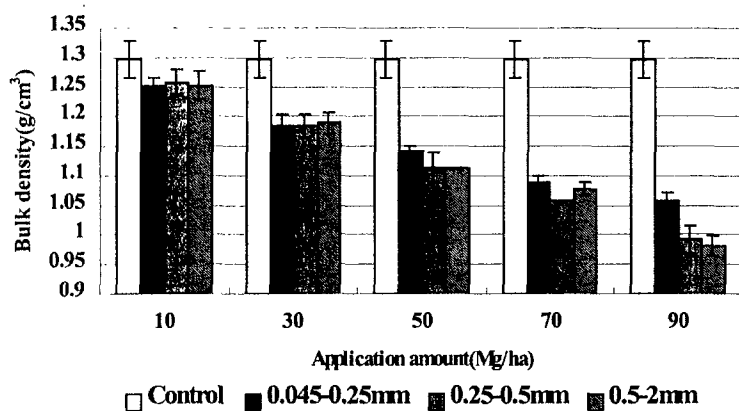


Fig. 5-5. The Change of bulk density according to application amount of particle size fractions of organic byproduct fertilizer classified with diameter size.

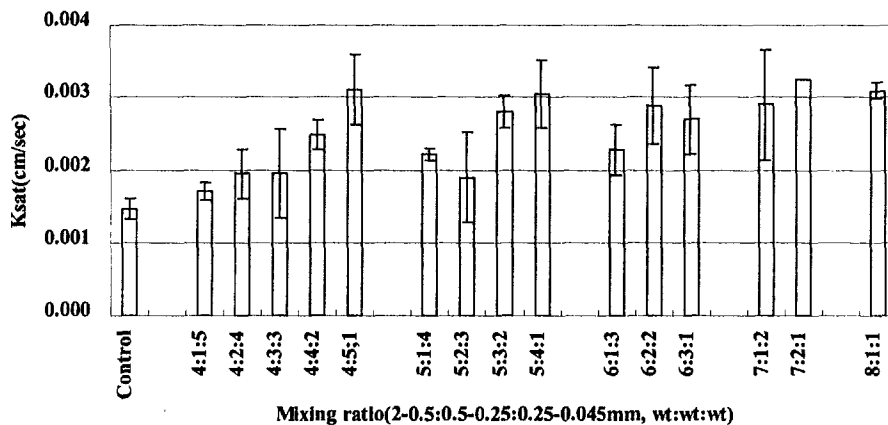


Fig. 5-6. The change of saturated hydraulic conductivity in soil mixed with particle size fractions of organic byproduct fertilizer classified with diameter size.

2. 불포화투수계수

가. 부산물비료 시용에 의한 토양의 입단화도와 용적밀도의 변화

부산물비료의 투여가 토양의 입단화도와 용적밀도의 변화에 미치는 영향을 파악하기 위하여 시판 부산물비료 중 화학적 특성이 대별되는 12종의 퇴비를 각각 5 Mg ha^{-1} , 15 Mg ha^{-1} , 30 Mg ha^{-1} 의 시용률로 사양토, 사질식양토 그리고 식양토의 3가지 토양에 시용 한 후 1년 간 노지에서 숙성하여 토성별 입단화도를 측정한 결과는 Fig. 5-7이며, 용적밀도는 Fig. 5-8과 같았다.

입단화도는 공시토양 중 사양토에서 가장 높았다. 사양토의 경우 동일시용량에서는 0.5mm보다 큰 입단형성보다 0.25~0.5mm크기의 입단 형성비가 높았으며 무처리에 비해 모든 부산물비료 처리구의 입단화도가 높게 나타났으나 시용량을 증가할수록 입단화도가 감소하는 경향을 보였다. 사질식양토의 경우 동일시용량에서 0.5mm보다 큰 입단의 비가 높았으며 무처리에 비해 0.25~0.5mm크기의 입단은 큰 변화가 나타나지 않았으나 0.5mm보다 큰 입단은 감소하였다. 그리고 시용량을 증가에 따른 일정한 경향은 보이지 않았다. 식양토의 경우 동일시용량에서는 0.25~0.5mm 크기의 입단비가 높았으며 무처리에 비해 0.25~0.5mm 크기의 입단의 양이 현저하게 감소하였으며, 시용량 증가에 따라 0.5mm보다 큰 입단이 소폭 증가하였다. Aggelides and Londra(1999)는 도시폐기물 62%, 하수슬러지 21% 및 톱밥 17%를 포함한 유기질비료를 양토와 식토에 시용하고 입단화도와 용적밀도를 조사한 결과 유기질비료의 시용에 의한 용적밀도의 감소와 입단화도의 증가가 양토에서 더 크게 나타났다고 보고하였는데, 본 연구결과에 비추어 볼 때, 부산물비료의 시용은 점토 함량이 적은 경우 그 효과가 더 크게 나타나는 것으로 생각된다.

토성별 무처리구에 대한 부산물비료 시용구의 용적밀도의 변화는 식양토

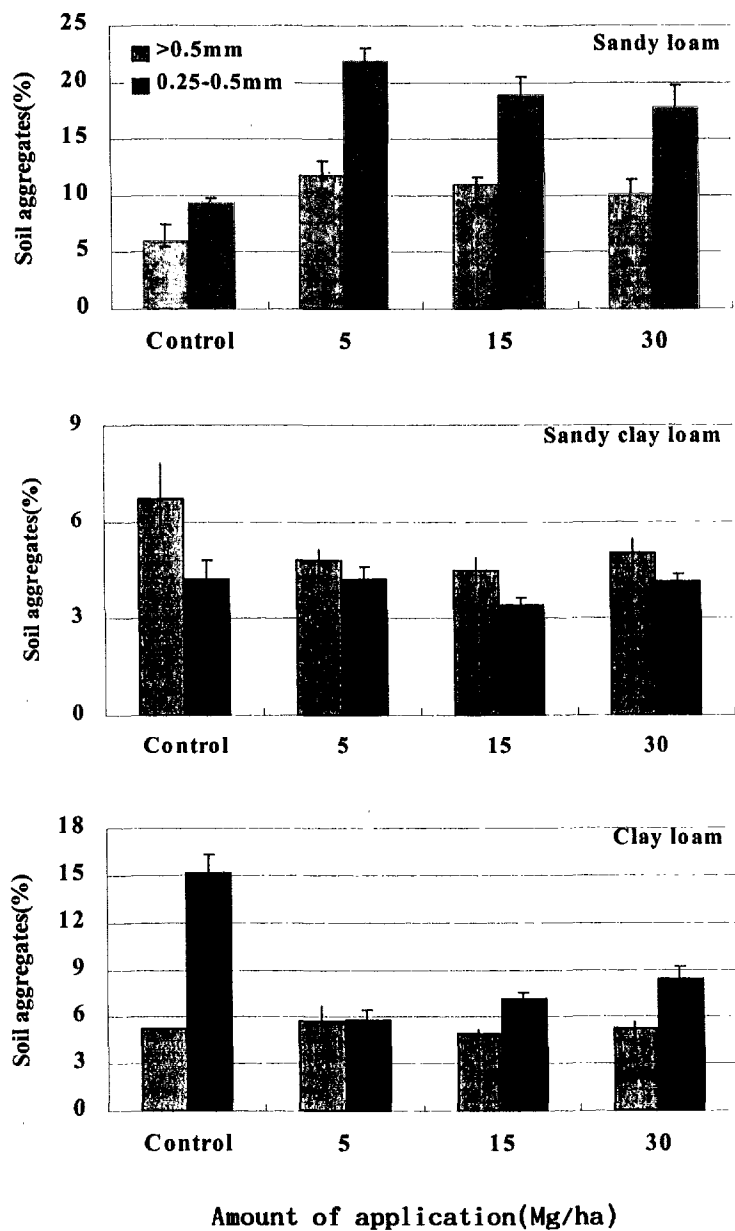


Fig. 5-7. The changes of degree of aggregation by application amount of organic byproduct fertilizer in several soils.

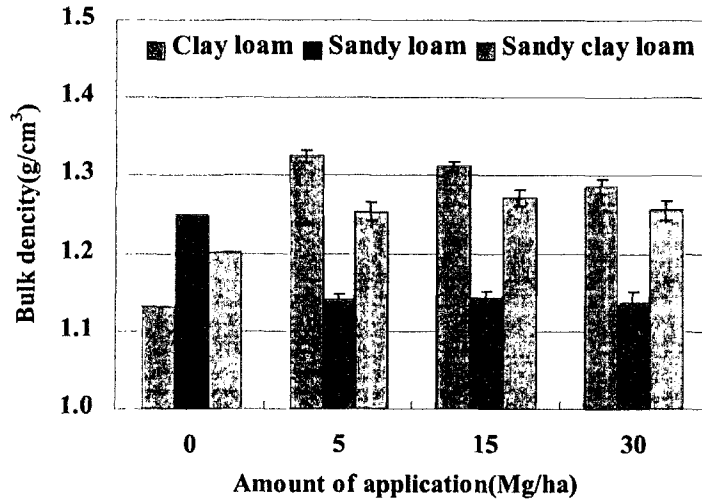


Fig. 5-8. The changes of bulk density by application amount of organic byproduct fertilizer in different soil texture.

에서는 1.13g/cm³에서 1.32g/cm³, 사질식양토에서는 1.20g/cm³에서 1.27g/cm³로 다소 증가한 반면, 사양토에서는 1.25g/cm³에서 1.14g/cm³로 다소 감소하였다.

결국 부산물비료 시용에 따른 입단의 형성 정도는 토성에 따라 상이하여 점토 함량이 적은 토양에서는 작은 크기의 입단이 발달되면서 용적밀도가 감소하는 반면, 점토함량이 많은 토양에서는 작은 크기의 입단의 형성이 현저하게 줄어들면서 용적밀도가 증가하는 것을 알 수 있었다. 그러나 이러한 결과는 식물체의 재배에 따른 근권 미생물의 활성화와 뿌리로부터의 방출물에 효과뿐만 아니라 식생 피복에 의한 입단 파괴의 완화 효과가 무시된 것으로서 식물재배시 입단화도와 용적밀도의 변화는 더 연구되어야 할 부분으로 생각된다.

나. 부산물비료 시용에 따른 불포화 투수계수 변화

부산물비료를 시용하지 않은 토양에서 토성별 매트릭포텐셜의 변화에 따른 불포화투수계수의 변화 양상은 Fig. 5-9와 같다. 토양수분장력이 높아 질수록 사양토에서는 불포화 수리전도도가 급격하게 증가한 반면 식양토와 사질식양토에서는 완만하였다. 이때 매트릭포텐셜이 -30cm하에서의 불포화 수리전도도는 식양토>사질식양토>사양토의 순이었으며 매트릭포텐셜 -5cm 이상(수분포화시)에는 사양토>>식양토>사질식양토순이었으나, 식양토와 사질식양토간의 차이는 크지 않았다. 이는 상대적으로 대공극을 많이 포함하는 사양토의 경우 높은 매트릭포텐셜하에서는 수분이 쉽게 침투되지만 낮은 매트릭포텐셜하에서는 수분을 빨아들일 수 있는 소공극의 양이 적어 수분의 이동이 원활하지 못하였으며, 상대적으로 극소공극을 많이 포함하는 식양토에서 모세관 효과(capillary effect)에 의해 낮은 매트릭포텐셜하에서 수분의 이동이 더욱 원활히 이루어졌기 때문으로 생각된다. 또한 White(1987)는 침투매질의 모세관길이(capillary length; λ)가 길수록 투수성이 감소한다고 보고하였는데 본 연구에서 사양토, 사질식양토, 식양토

에서의 모세관 길이를 살펴본 결과 각각 0.10, 0.37, 0.53m를 보여 식양토에서 가장 큰 모세관길이를 보였다(Appendix VII).

토성별 부산물비료 시용량에 따른 불포화투수계수의 변화를 무처리구와 비교하여 조사한 결과는 Fig. 5-10, 5-11, 그리고 5-12와 같다.

매트릭포텐셜이 -10cm에서는 식양토의 경우 5 Mg ha⁻¹ 시용량에서만 무처리에 비해 높은 불포화수리전도도를 보였고, 사질식양토의 경우 대부분의 시료가 시용량 증가에 관계없이 무처리에 비해 높은 불포화수리전도도를 보였으며, 사질식양토에서는 대부분의 시료가 시용량 증가에 관계없이 무처리에 비해 낮은 불포화수리전도도를 보였다. 매트릭포텐셜이 -30~-20cm하에서는 모든 토성에서 시용량의 증가에 관계없이 무처리에 비해 낮은 불포화수리전도도를 보였다. 따라서 배수성이 좋은 사양토에서는 부산물비료의 시용에 의해 배수성이 저하되었으며 배수가 불량했던 식양토의 경우는 반대로 배수성이 양호한 방향으로 전환되었다.

사양토, 사질식양토, 식토 모두에서 매트릭포텐셜이 -30~-20cm하에서 무처리 토양에 비하여 낮아진 불포화수리전도도를 보인 것은 부산물비료 시용으로 상대적으로 대공극의 발달이 증가하였음을 보여주는 것이다.

이상의 결과에서 보는 바와 같이 부산물비료 시용시 토성에 따라 투수성의 변화는 상이하게 나타나며, 또한 시비량의 증가가 반드시 양호한 투수성을 보장하는 것은 아닌 것으로 보아 토양물리성 개선을 목적으로 현재 유통되고 있는 부산물비료를 시용할 경우 토성과 시비량이 달라져야 할 것으로 판단된다.

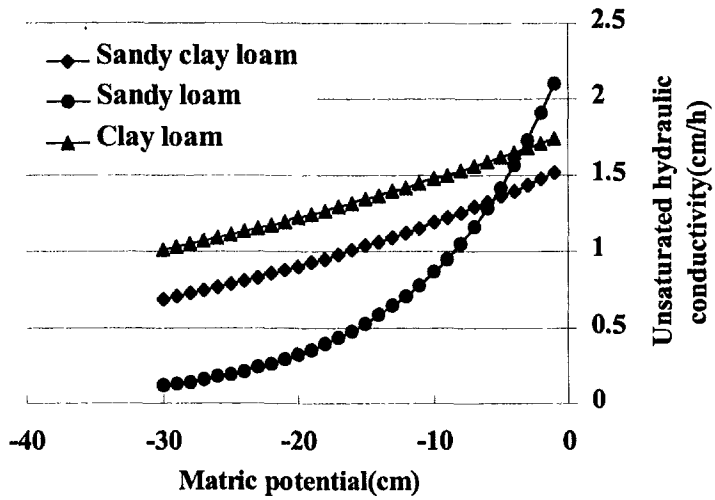


Fig. 5-9. The changes of unsaturated hydraulic conductivity by soil matric potential in different soil texture.

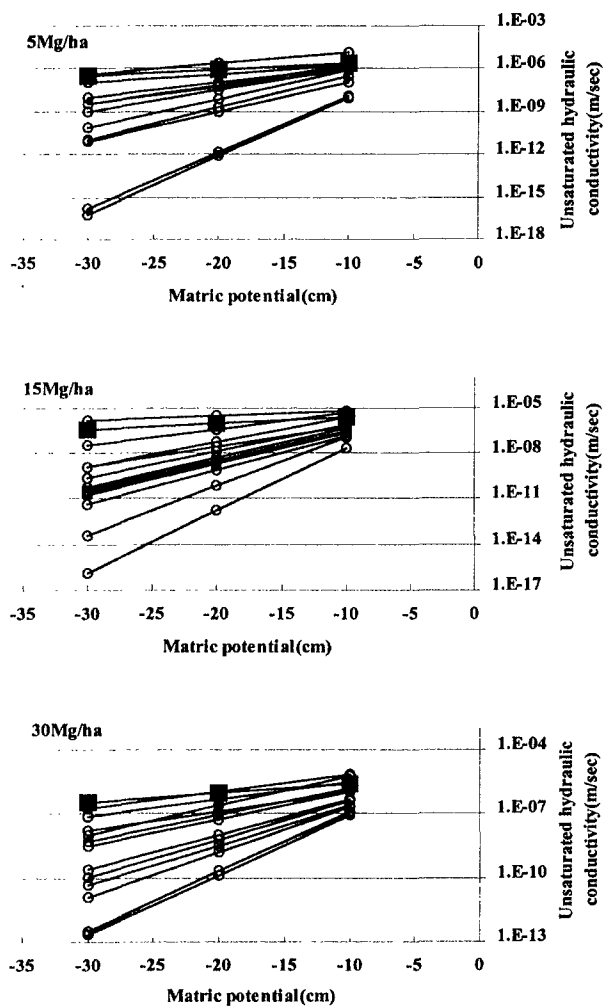


Fig. 5-10. The changes of unsaturated hydraulic conductivity by application amount in sandy loam(■: unsaturated hydraulic conductivity of non-amended soil, ○: unsaturated hydraulic conductivity of compost amended soil).

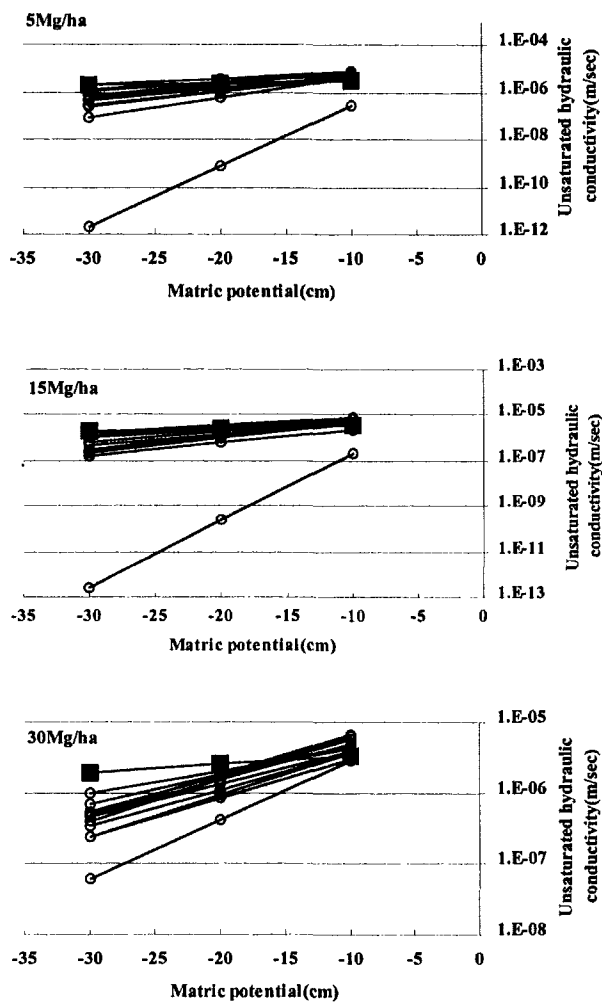


Fig. 5-11. The changes of unsaturated hydraulic conductivity by application amount in sandy clay loam(■; unsaturated hydraulic conductivity of non-amended soil, ⊖; unsaturated hydraulic conductivity of compost amended soil).

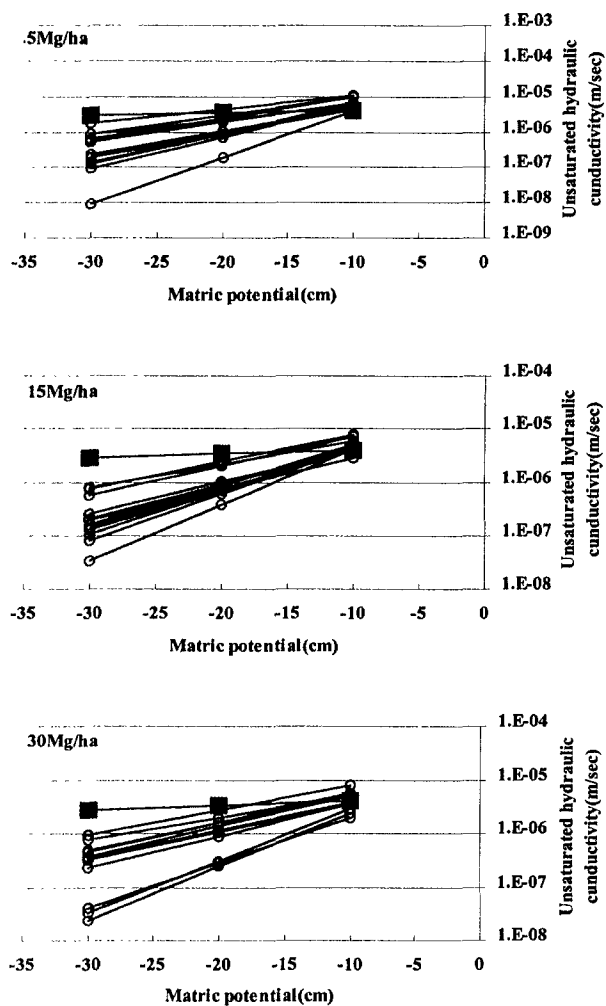


Fig. 5-12. The changes of unsaturated hydraulic conductivity by application amount in clay loam(■; unsaturated hydraulic conductivity of non-amended soil, ⊖; unsaturated hydraulic conductivity of compost amended soil).

3. 재배실험

부산물비료의 투여에 따른 작물의 생육변화 양상을 파악하는 것은 앞선 물리성 조사보다 훨씬 더 많은 연구가 필요할 것이다. 또한, 부산물 비료의 물리성 특성의 조사에는 반드시 최종적인 효과로 나타나는 작물의 생육변화를 살펴야만 한다. 그러나, 본 연구에서 시험된 재배시험은 극히 한정적인 것에 지나지 않기 때문에, 부산물비료의 식물영향에 대한 전반적인 고찰이 될 수 없는 것임을 우선 밝혀두고자 한다.

부숙화 정도가 다른 부산물비료의 투여가 식물의 생육에 미치는 영향을 조사하기 위하여 부숙 기간이 다른 부산물비료를 시용한 화분에서 상추를 재배한 결과는 Fig. 5-13과 같다. 모든 처리구에서 무비구에 비하여 부산물비료 처리구에서 성장량이 높게 나타났다. com1과 com6의 경우에는 부숙 초기 단계에 있는 부산물비료를 투여한 경우가 부숙 후기의 부산물비료 투여의 경우보다 오히려 식물의 생육이 양호하게 나타났다. 이러한 경향은 지상부와 지하부의 생육조사에서도 비슷한 결과를 보였다.

특히 부숙단계보다는 퇴비의 종류에 따라 전체 부숙단계에서 성장량의 차이가 확인하였는데, 퇴비별로는 COM 1, COM 4, COM 6에 의한 성장량 증가가 뚜렷하였다. 이와 같이 부숙단계별 퇴비의 시용효과가 나타나지 않은 것은 실험에 사용된 퇴비가 수집된 후 건조되고, 상당시간이 경과한 것으로 식물의 생육에 직접적으로 영향을 줄 수 있는 암모니아 가스 등이 모두 휘발되어 미부숙 퇴비에 의한 식물의 직접피해가 가시화되지 않은 것으로 보이며, 또한 투여된 부숙단계별 퇴비에서의 질적인 차이는 입경과 용적밀도와 같은 물리성의 차이만을 가지는데 이러한 차이가 원재료의 특성에 크게 영향 받는다는 점에서 부숙단계별 퇴비시용의 영향보다는 퇴비종류별 영향이 크게 나타난 것으로 판단된다. 따라서 퇴비의 물리성의 관리는 일차적으로 원재료의 관리를 통하여 이루어질 수 있는 것으로 생각되며, 본 재배실험에서는 실제 미부숙퇴비의 투여영향을 판별하기는 어려웠다.

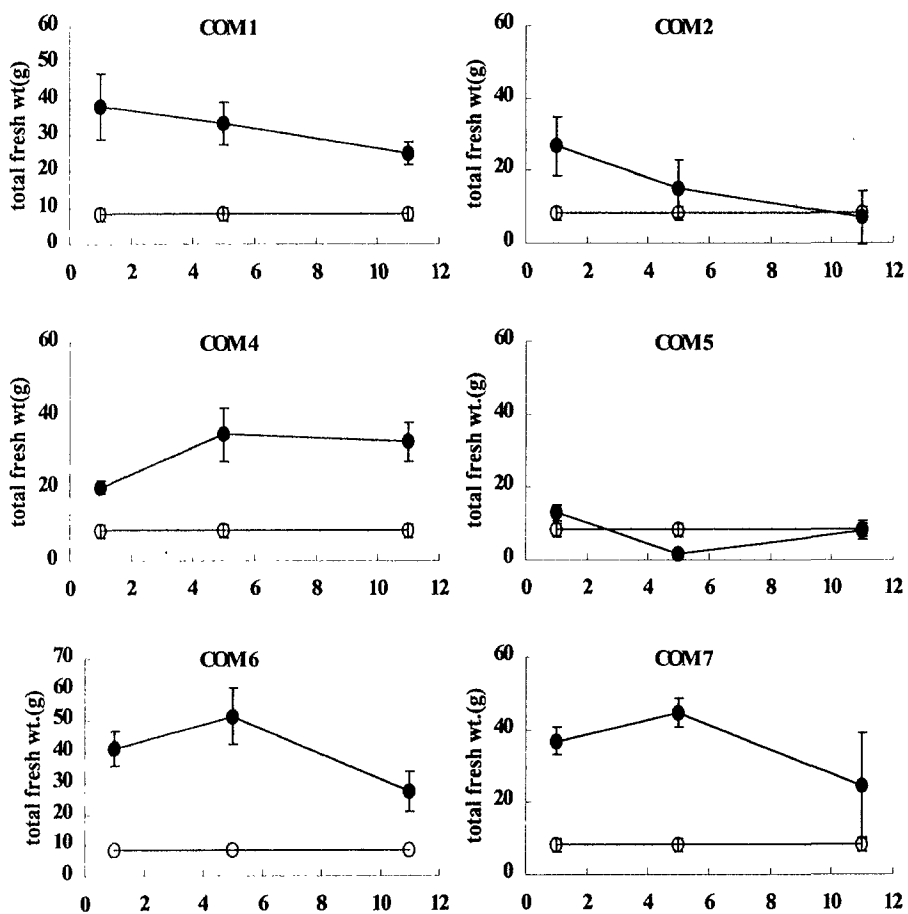


Fig. 5-13. The change of fresh weight of lettuce by application of organic byproduct fertilizer in respect of composting stage.

제 6 장 부산물비료의 물리성 품질 기준 설정에 대한 제안

제1절 서 설

유기성 폐자원을 이용한 부산물비료의 생산 및 이용은 폐자원의 활용과 농경지의 비옥도 향상이라는 두 가지 측면에서 큰 의의를 지니고 있으나 부산물비료의 생산시 불량폐기물을 원료로 이용하거나 아직 완전히 부숙되지 않은 미부숙퇴비를 시판함으로써 발생하는 농경지의 2차 오염과 물리성 악화가 문제로 대두되고 있다.

따라서 부산물비료의 물리적 특성과 농경지 투여 시 토양의 물리적 특성 변화를 파악함으로써 퇴비의 물리적 품질 기준설정의 가능성과 타당성을 검증하고, 효과적인 부산물비료의 품질관리를 위하여 기존의 화학성 기준 뿐 아니라 물리성 기준이 설정될 필요성이 있음을 확인하였다.

본 연구결과의 활용에 대하여 다음과 같이 건의한다.

- 본 연구결과에서는 다양한 시판 부산물비료의 화학성 현황을 중위수, 가중평균, 분포도 등을 이용하여 폭넓게 제시하고 있으며 이러한 화학성 현황의 파악은 기존의 부산물비료의 관리에 사용되어 온 화학성 평균치의 문제점을 지적하고 있고, 또한 간접적으로 물리성 기준 설정의 필요성을 내포하고 있어 부산물비료의 품질현황을 파악할 수 있도록 각 농업관련 연구소 및 부산물비료의 생산자, 각도 농업기술원에 배부토록 한다.
- 본 연구결과에 제시된 부산물비료의 물리성과 부산물 비료를 토양에 투

여한 후 토양의 물리성 변화에 관한 결과는 토양과 부산물 비료의 질적 다양성을 보여주고 있다. 즉, 본 연구에서 시도된 실험방법들은 전반적이고 종합적인 평가를 위한 기초적 접근방법을 제시하였다고 판단된다. 이러한 방법들은 퇴비의 물리적 특성에 대한 품질관리를 위한 기준의 설정 유무에 상관없이 현장 실무자 또는 연구자들이 퇴비의 품질을 평가하는 척도와 방법으로 이용될 수 있을 것이다.

- 본 연구결과에서 제시된 부산물비료의 토양 투여시 나타나는 토양의 구조와 수리학적 특성의 변화는 토양의 토성과 퇴비의 투여량에 따라 다르게 나타나고 있어, 종합적인 판단을 위해서는 반드시 부산물비료 투여시 나타나는 토양의 물리성 변화에 대한 추가연구가 필요하며, 또한 퇴비의 사용에 있어서 농지의 토성에 따른 퇴비의 권장 투여량에 관한 연구가 토양의 물리성 변화와 관련하여 이루어져야 할 것이다.
- 환경농업에 있어 부산물비료 사용의 효용성을 알리고 토양비옥도의 유지를 위하여 지금까지 간과해왔던 부산물비료의 물리성과 투여 토양의 물리성에 관한 연구의 필요성을 적극적으로 홍보하고, 연구를 지원한다.

제2절 부산물 비료의 물리성 품질관리 기준 설정에 대한 제안

지금까지 살펴본 본 연구의 결과들을 바탕으로 하여, 금후 우리나라의 부산물비료의 적정관리와 생산자와 소비자 모두에게 도움이 되는 부산물비료 품질관리 지표나 기준의 제안에 대하여 다음과 같은 제안을 하고자 한다.

1. 제안 1 (물리성 품질기준을 따로 운용하지 않는 안)

부산물 비료의 부숙도 판정에 대해서는 매우 많은 항목과 연구결과들이 보고되고 있지만, 아직까지 모든 부산물비료나 퇴비에 일률적으로 적용될 수 있는 지표가 희소하다. 유기물대 질소의 비율, 양이온치환용량, 암모니아태질소와 질산태질소 함량 등 일부 화학적 특성들에 대한 지표들도 완제품의 성상을 평가하는 지표로 사용되고는 있지만, 원료나 부재료가 달라지고, 부산물 비료의 공정이 다른 경우에 균일한 척도로 상호 비교하는 데에는 무리가 따른다. 즉, 현 단계에서 토양과 부산물 비료의 질적 다양성으로 인하여 일률적인 기준을 설정하고 운영하는 것은 큰 무리가 따를 것이다.

더욱이 국내외적으로 많은 연구결과를 바탕으로 한 화학적 특성들에 비하여, 부산물 비료에 대한 물리적 특성에 대한 조사연구의 결과들이 거의 축적되어 있지 않은 실정이기 때문에, 부산물 비료의 품질관리기준 항목으로 물리성 항목을 추가하여 운용하는 것은 뒤로 미루어야 할 것으로 판단한다.

그 대신에, 본 연구결과로 도출된 부산물 비료의 입도와 입도가중용적밀도, 점도, 색도, 수분함량 등에 대한 모니터링 자료를 축적한 후 그 결과에 대한 검토를 바탕으로 기준의 설정여부를 최종 판단하도록 건의한다. 이 경우에, 입도나 입도가중용적밀도, 수분함량 등을 생산자의 품질관리를 위한 부산물비료의 권장지표항목(법적 강제력이 없는)으로 추가하는 것과, 지속적인 모니터링을 위한 제도적 뒷받침에 대해서는 긍정적으로 검토할 필요가 있다고 생각된다.

그러나, 토양의 악화를 조기에 억제하고, 빈발하고 있는 민원 등의 이유로 '물리성 품질 기준 설정'을 미루지 못할 경우에는 다음의 둘째, 셋째의 안을 제안한다.

2. 제안 2 (물리성 품질기준을 등급 판정 기준으로 운용하는 안)

부득이 하게 부산물비료의 물리성 품질관리기준을 시급히 도입하지 않으면 안될 경우에, 다음과 같이 본 연구에서 제안하는 물리성 품질 기준은 기존의 화학성 품질 기준을 종속적으로 보완하는 성격으로 운영하도록 한다.

즉, 제품의 품질검사에 있어서 먼저 화학성 기준에 대한 검토를 실시하고, 합격한 제품에 대해서 등급을 나누는 지표로서 물리성 기준을 적용하도록 하여 물리성 기준 항목을 통과하지 못하는 부산물 비료를 하품의 부산물 비료로 등급화 하도록 하는 방안이다.

이 경우에는 엄격한 품질관리가 이루어질 수 있으나, 제품을 생산하는 기업의 입장에서의 민원이 제기될 가능성이 많다. 따라서 품질에 대한 검사를 담당하는 인력에 대한 교육훈련과 제품생산자 및 사용자에게 대한 홍보가 충분하게 이루어진 후에 도입되지 않으면 안될 것이다.

이러한 전제들이 충족된 후에 다음의 물리성 기준 항목들을 운용하도록 할 것을 건의한다. 구체적인 항목별 기준(안)은 다음과 같다.

가. 수분함량

부산물비료 최종제품의 수분함량을 1등급 50%, 2등급 60% 이하로 유지하도록 하는 규정을 제안하고자 한다.

이미 3장에서 자세하게 고찰하였지만, 높은 수분함량이 유지될 경우 제품에 남아있는 완전히 부숙되지 않은 유기물들이 운송 저장과정에서 혐기성 부패로 이어져 품질이 나빠질 가능성이 높은 이유 때문이다.

참고로 독일의 경우 생퇴비와 완숙퇴비의 품질기준에 수분함량을 기준항목으로 운용하고 있는데, 생퇴비는 포장되지 않은 상태에서 45% 이하, 완숙퇴비는 포장되지 않은 상태에서 45%, 포장된 상태에서 35%이하로 규정하고 있다(농업과학기술원, 1999).

독일과 같이 45% 이하로 수분함량을 낮추어 규정을 운용할 경우 제품의

건조과정에 추가적인 에너지의 투입이 필요하고, 이는 곧바로 부산물비료의 가격상승 요인으로 작용할 것이다. 부산물 비료의 가격상승은 현재로서도 부산물비료가 같은 비료성분량을 가지는 화학비료보다도 높은 가격(농업과학기술원, 1999)을 가진다는 점과, 높은 가격은 불량제품의 유통을 촉진시킬 수도 있다는 점에서 바람직하지 않은 대책이라고 생각된다. 즉, 비료가격을 상승시킬 수 있는 규정의 도입은 가능한 피해야 한다고 생각되기 때문에, 현재 우리나라의 부산물비료 공정에 건조공정의 추가 없이 품질을 유지할 수 있도록 하는 방안이 현실적인 대책이라고 판단된다.

따라서, 최종제품의 수분함량은 후숙기간 중에 50% 정도의 수분함량이 유지되어야 한다는 보고(장, 1995)와 안전한 퇴비의 공급이라는 측면을 강조한다면 60%를 기준점으로 하는 것이 바람직하고, 운송·저장과정의 비용을 줄이면서 퇴비의 혐기성 부패를 방지하고자 한다면 70%이하를 유지해할 것이다.

이러한 검토와 외국의 예를 바탕으로 본 연구에서는 부산물비료 최종제품의 수분함량을 1등급의 경우 50%, 2등급의 경우 60% 이하로 유지하도록 하는 규정을 신설할 것을 제안하고자 한다.

수분함량을 규격기준으로 도입하여 운용하는 것은 제품생산 이후의 후숙 단계나 판매 단계에서의 비료의 부패를 예방하는 이점 이외에도 부산물비료의 실사용자인 농민이나 생산자 모두가 아주 편리하게 품질관리를 할 수 있는 부가적인 효과를 얻을 수 있다.

현재 운용되고 있는 품질기준 항목들인 유기물, 유해중금속, 유기물 대질소비 등은 모두 현장에서 관능적으로 판단할 수 있는 기준이 아니라 화학분석이라는 절차를 반드시 거쳐야만 하고 관능적으로 손쉽게 알아낼 수 없는 데 비하여, 수분함량 기준은 정확한 분석을 통하지 않더라도 관능검사가 가능하다. 즉, 손으로 부산물재료를 한줌 쥐어서 힘을 주어 꼭 쥐었을 때 손가락 사이로 물기가 스밀 정도가 되면 70% 이상, 물이 스밀 정도는 아니지만 손바닥에 물기를 느낄 수 있는 정도면 60% 전후, 물기를 거의

느낄 수 없는 상태로 손을 털면 묻었던 부스러기가 즉시 떨어질 정도면 40~50% 전후 등으로 볼 수 있어서(농업과학기술원, 1999), 물리적인 분석 절차를 거치지 않고 소비자나 생산자 또는 제품 감시자(공무원 또는 시민단체회원)가 즉각적으로 품질평가를 할 수 있다는 이점이 있다.

나. 입도지수 및 입도가중용적밀도

부산물비료의 입도가 토양의 물리성에 영향을 미치는 주요 요인의 하나인 것은 분명하지만, 기준항목으로 설정하기에는 축적된 자료의 양이 미흡하다는 점을 고려하지 않을 수 없다. 그리고 부숙도에 따른 입도지수의 변화도 원재료에 의한 영향에 파묻혀 알아낼 수 없었기 때문에 등급화를 위한 지표로 사용되는 것이 좋을 듯 하다. 등급화의 기준점으로는 1등급의 경우 입도지수 0.8, 2등급의 경우 입도지수 1.0을 제시한다.

입도지수가 가지는 좁은 변이폭으로 인하여 입도가중용적밀도를 기준으로 이용하기가 더 편리하다. 입도가중용적밀도도 역시 등급화를 위한 지표로 운용하는 것이 바람직하다고 보인다. 다만, 실제 현장조사와 본 연구의 실험실 내에서의 분석과정을 통하여 입도가중용적밀도가 0.45 이상인 제품들의 경우 부산물비료에 보조재로 투입되는 무기물들의 영향을 크게 받고 있어서 적절하지 못한 원료가 혼합될 가능성이 높은 제품들이었다. 따라서 등급화 기준으로 입도가중용적밀도가 0.37이상이면 1등급, 0.45 이상이면 2등급으로 분류하는 기준을 안으로 제시한다.

다. 기타 항목

기타 색도(색차), 점도 등의 물리성 항목들은 품질관리기준으로 운용하지 않는다.

3. 제안 3 (물리성 품질기준을 독립적 기준으로 운용하는 안)

기존의 화학성 기준과 달리 독립된 기준체계로 물리성 기준을 운영하는 방안이다. 즉, 화학성 기준으로 합격된 부산물 비료라도 물리성 기준에 맞지 않으면 불합격 된 것으로 판정하는 것을 말한다. 본 연구에서 제시된 입도와 입자가중용적밀도 등으로 농경지에 투입되어서는 안 되는 제품을 제한하고, 도시녹지용 등으로 사용하도록 하는 등급화의 기준으로 부산물 비료의 물리성 기준을 운용하도록 하는 것이다.

세부적인 합격 기준점은 제안 2에서의 2등급의 기준(수분함량 60%, 입도 지수 1.0, 입자가중용적밀도 0.45)과 같으며, 규격기준이 아닌 합격기준으로 바뀌는 것이다.

이상의 세 가지 제안들을 종합하면 Table 6-1과 같다.

Table 6-1. The physical quality criteria proposal for management of organic byproduct fertilizers

	제 1안	제 2안	제 3안
개요	물리성기준 설정없음	등급판정기준으로 운용	독립적 기준으로 운용
수분함량	-	1등급: 50%이하 2등급: 60%이하	60%
입도지수	-	1등급: 0.8이하 2등급: 1.0이하	1.0이하
입자가중 용적밀도	-	1등급: 0.37이하 2등급: 0.45이하	0.45이하
운용시 준비사항	* 생산자의 내부품 질관리기준으로 활 용하기 위하여 연구 결과 보급	* 법 제정 (물리성기준의 등급화) * 교육, 홍보	* 법제정 (물리성기준 추가) * 교육, 홍보

Appendix I. Physico-chemical properties of commercial organic byproduct fertilizers

Sample No.	OM	T-N	OM/N	pH	W. C	CEC	EC	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ /NO ₃ ⁻
		%		1:10	%	cmol ⁺ /kg	dS/m	mg/kg		
1	30.9	1.75	17.7	7.8	54.6	37.0	7.27	481.08	979.85	0.49
2	54.0	0.82	65.8	7.8	69.4	23.8	2.33	1,731.72	1,276.14	1.36
3	82.9	1.11	74.8	8.0	65.4	31.8	3.96	1,941.63	301.76	6.50
4	29.4	0.72	40.6	7.6	47.5	23.2	6.03	794.61	1,589.21	0.50
5	67.5	2.33	29.0	8.3	57.1	81.2	3.29	5,031.11	1,441.73	3.49
6	65.7	2.75	23.9	8.1	47.2	75.5	4.17	4,724.51	148.81	35.00
7	33.4	2.21	15.1	7.0	51.4	59.4	7.91	254.60	3,616.05	0.07
8	70.6	1.98	35.7	8.5	63.0	55.8	3.21	8,005.02	150.34	53.25
9	64.2	2.50	25.7	8.8	53.1	16.2	5.30	646.51	356.50	1.82
10	71.6	4.20	17.0	8.1	47.1	39.2	4.22	2,153.72	1,434.99	1.50
11	76.3	1.84	41.4	5.6	73.3	132.6	3.58	341.45	2,052.04	0.17
12	26.4	1.77	14.9	11.8	33.6	54.0	6.28	996.51	240.75	4.50
13	59.8	1.76	34.0	8.0	51.7	82.9	4.28	2,821.01	402.85	7.15
14	74.3	0.95	77.9	8.0	63.7	51.4	3.28	2,332.51	532.98	4.38
15	54.2	1.88	28.8	5.9	45.2	77.6	6.49	223.19	1,799.20	0.12
16	73.6	1.90	38.7	9.1	52.7	50.4	3.14	3,900.12	170.81	22.83
17	45.8	1.44	31.8	8.1	35.3	43.9	4.14	3,187.77	230.62	13.83
18	80.3	2.61	30.8	6.8	31.9	10.8	3.40	5,172.03	199.82	26.75
19	41.5	1.76	23.6	8.4	52.9	21.9	1.00	1,898.75	180.93	12.25
20	62.2	1.55	40.1	7.8	63.1	32.2	2.69	156.07	1,092.47	0.14
21	50.6	1.24	40.9	7.8	47.0	34.0	2.80	1,745.28	153.66	12.75
22	84.6	3.26	26.0	9.1	60.8	34.4	4.37	7,744.83	380.89	20.33
23	69.7	2.51	27.8	9.0	48.4	46.2	7.13	2,195.92	364.72	6.08
24	48.7	4.18	11.7	7.3	39.9	109.6	7.64	832.68	2,930.73	0.28
25	48.6	1.96	24.8	9.4	45.9	47.7	6.43	1,813.10	153.97	11.85

Appendix I. Continued

Sample No.	OM	T-N	OM/N	pH	W.C	CEC	EC	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ /NO ₃ ⁻
	%			1:10	%	cmol ⁺ /kg	dS/m	mg/kg		
26	33.2	1.29	25.7	8.6	27.3	28.9	2.47	2,936.64	71.63	41.00
27	25.2	1.31	19.3	7.5	58.0	21.7	1.12	556.13	367.41	1.50
28	57.8	1.91	30.4	9.2	48.4	55.2	7.81	8,546.89	241.75	35.65
29	45.8	1.88	24.3	9.6	54.8	35.1	6.17	5,212.47	229.43	22.75
30	27.8	1.30	21.4	7.9	46.3	57.8	2.07	246.62	246.62	1.00
31	50.5	2.16	23.4	9.0	46.4	40.8	2.89	2,839.28	232.43	12.58
32	38.5	2.38	16.2	7.4	56.8	42.0	3.54	674.76	1,700.97	0.41
33	57.0	1.66	34.3	7.7	28.4	67.7	2.25	7,887.68	168.40	48.33
34	47.3	1.10	43.0	7.3	36.9	58.6	3.71	1,794.30	733.82	2.45
35	55.8	1.11	50.3	6.7	37.0	30.8	1.92	808.60	524.62	1.55
36	27.9	1.31	21.3	8.3	54.8	15.1	3.10	1,802.46	1,993.97	0.89
37	46.6	1.86	25.1	8.8	63.9	25.7	3.48	11,588.54	261.54	44.83
38	46.4	2.14	21.7	9.1	60.3	47.7	2.70	6,554.77	1,243.00	52.78
39	62.2	1.93	32.2	8.1	69.5	84.0	2.29	253.88	505.56	0.50
40	34.9	1.41	24.7	7.9	18.0	15.0	2.27	1,633.40	124.44	17.00
41	24.4	1.01	24.3	7.3	50.9	53.5	3.18	207.29	1,189.18	0.17
42	55.3	1.67	33.1	6.9	66.9	32.2	2.13	369.97	277.39	1.50
43	44.8	1.77	25.3	8.4	44.4	51.6	1.70	293.60	588.58	0.50
44	44.9	4.22	10.6	6.8	15.7	25.8	14.24	14,060.33	150.82	93.55
45	52.8	2.08	25.4	9.1	54.2	26.5	4.17	16,797.91	ND	-
46	28.6	1.74	16.5	9.4	25.8	19.5	4.84	1,314.33	103.97	14.50
47	59.7	2.27	26.2	6.1	61.0	41.7	4.74	2,421.36	2,846.24	0.85
48	50.0	1.06	47.3	12.6	42.8	62.6	4.97	238.19	262.28	0.90
49	46.8	0.74	63.0	9.0	27.2	29.4	2.92	1,828.23	140.63	13.00
50	53.0	1.28	41.5	6.9	69	97.5	2.92	164.37	821.85	0.20

Appendix I. Continued

Sample No.	OM	T-N	OM/N	pH	W.C	CEC	EC	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ /NO ₃ ⁻
	%			1:10	%	cmol ⁺ /kg	dS/m	mg/kg		
51	25.0	0.43	58.2	7.6	52.4	50.2	1.85	89.91	49.79	2.14
52	24.0	2.11	11.4	6.5	55.2	50.9	2.90	200.23	1,173.75	0.17
53	36.3	2.43	14.9	7.8	14.5	27.0	5.09	1,484.72	885.26	1.68
54	41.7	2.00	20.8	7.1	46.8	91.7	5.62	8.15	680.21	0.01
55	36.2	1.96	18.4	7.5	21.8	96.4	7.20	327.65	643.59	0.51
56	71.0	2.96	24.0	6.4	66.5	27.8	4.18	547.23	2,619.77	0.21
57	43.4	1.49	29.1	7.1	48.3	42.6	3.39	661.74	890.55	0.74
58	64.3	2.52	25.6	8.6	53.8	61.2	6.97	5,948.32	235.56	25.25
59	38.7	1.88	20.6	8.9	53.7	46.7	3.74	4,792.35	170.86	31.50
60	47.0	1.53	30.7	9.0	46.5	12.5	0.52	10,029.83	299.72	33.75
61	61.4	1.35	45.7	7.7	61.7	53.0	4.32	886.77	1,701.96	0.52
62	60.0	1.99	30.2	7.9	55.6	10.5	2.86	2,831.04	527.98	5.58
63	60.8	1.63	37.4	8.6	52.9	46.1	7.70	1,241.64	2,248.31	0.55
64	26.4	4.29	6.1	8.5	64.2	10.7	0.76	3,306.87	370.24	9.33
65	29.7	1.74	17.1	9.5	56.4	23.9	4.31	4,375.50	121.88	37.00
66	40.2	1.21	33.2	8.2	51.8	9.5	1.65	3,646.57	228.58	16.00
67	62.6	3.83	16.3	6.0	24.5	47.0	10.04	7,819.77	144.30	54.25
68	77.0	2.53	30.5	7.7	49.4	42.2	4.14	1,354.24	134.25	10.67
69	63.4	1.69	37.4	7.2	49.7	17.8	4.02	1,910.46	2,101.88	0.91
70	31.7	1.40	22.7	7.4	29.8	33.4	5.23	929.22	2,303.08	0.40
71	51.1	2.13	24.0	7.3	32.2	63.7	3.31	4,723.21	111.47	46.75
72	38.5	0.69	55.8	9.3	55.0	35.1	3.91	236.64	116.90	2.00
73	49.7	1.94	25.6	8.6	42.2	76.2	5.51	6,966.35	89.03	78.25
74	46.7	1.36	34.3	7.9	68.5	51.5	2.35	169.33	338.65	0.50
75	27.8	0.97	28.7	9.1	8.5	14.1	5.19	240.72	84.21	2.88

Appendix I. Continued

Sample No.	OM	T-N	OM/N	pH	W. C	CEC	EC	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ /NO ₃ ⁻
	%			1:10	%	cmol ⁺ /kg	dS/m	mg/kg		
76	70.2	2.03	34.6	9.1	63.5	29.6	4.60	9,340.98	154.10	63.00
77	50.7	2.12	23.9	7.6	36.8	32.9	3.80	3,692.97	891.68	4.15
78	51.0	1.42	35.9	7.1	52.4	74.9	2.61	167.80	978.35	0.17
79	36.6	1.44	25.3	7.1	43.7	54.9	4.26	187.10	3,554.86	0.05
80	55.9	2.89	19.3	8.6	61.2	69.1	3.06	10,060.40	305.61	33.30
81	54.3	2.08	26.1	7.7	49.5	18.0	2.22	1,623.16	810.70	2.01
82	70.3	2.49	28.2	7.4	28.9	40.8	2.77	2,812.04	298.91	9.48
83	26.7	1.59	16.8	8.5	50.8	20.3	0.84	4,224.58	155.04	31.25
84	69.6	2.81	24.7	7.5	41.3	37.9	3.38	8,592.85	218.12	39.40
85	73.3	1.22	60.1	7.5	23.1	39.5	1.10	716.23	498.55	1.44
86	39.6	1.61	24.6	7.6	45.0	56.8	4.72	2,451.31	221.58	11.07
87	18.0	0.40	45.2	6.9	31.2	46.5	0.68	75.42	75.42	1.00
88	53.4	0.51	105.4	7.2	40.4	42.6	0.65	1,391.44	178.66	8.27
89	39.9	1.35	29.4	8.5	49.6	23.1	2.22	3,707.68	86.98	41.97
90	18.5	0.91	20.4	7.7	39.5	52.9	3.35	908.48	734.60	1.24
91	22.0	0.23	95.5	6.1	6.7	16.0	1.31	902.30	84.59	10.67
92	64.8	1.85	35.0	6.1	64.1	14.1	3.12	2,848.00	488.00	5.80
93	30.8	1.74	17.6	7.5	35.0	51.9	3.06	219.73	1,183.62	0.18
94	28.2	1.94	14.6	6.7	45.9	14.3	5.86	209.53	1,830.39	0.11
95	39.3	1.97	20.0	4.3	38.4	28.9	2.82	5,822.01	ND	-
96	20.0	0.94	21.4	8.0	33.5	16.7	4.06	477.03	2,460.05	0.19
97	20.2	0.60	33.8	7.7	45.7	18.8	3.17	1,126.49	1,414.95	0.80
98	65.5	3.61	18.2	8.2	30.6	70.3	7.04	16,246.49	222.18	73.12
99	26.3	0.44	59.6	7.3	25.8	46.0	1.20	584.25	173.76	5.13
100	28.0	1.32	21.2	9.5	52.7	24.8	0.61	228.68	114.34	2.00

Appendix II. Concentration of cations and heavy metals in commercial organic byproduct fertilizers

Sample	Na	K	Ca	Mg	Cu	Cd	Cr	Mn	Pb	Zn
No.	%				mg/kg					
1	0.42	1.80	2.65	0.66	74	1.31	13	777	1.3	302
2	Trace	0.01	0.02	Trace	ND	0.10	ND	230	29.1	367
3	0.23	1.26	2.88	0.61	372	ND	49	417	24.8	453
4	1.29	0.42	6.96	0.54	123	1.23	1,004	305	68.4	1,299
5	0.22	1.17	1.51	0.42	278	2.27	3	220	14.4	424
6	0.36	1.40	2.05	0.42	494	ND	2	352	8.5	896
7	0.62	2.77	5.04	1.27	919	ND	18	607	34.2	1,513
8	0.27	1.59	3.16	0.94	598	ND	40	452	22.2	872
9	0.37	2.07	3.87	1.00	623	1.86	13	555	46.2	978
10	0.25	1.34	1.69	0.59	447	8.75	13	329	39.0	749
11	0.26	1.36	1.76	0.43	462	1.87	16	349	29.5	1,100
12	0.47	1.38	16.63	0.97	347	1.39	24	372	21.1	487
13	0.40	2.39	3.09	0.66	308	ND	49	547	39.4	1,468
14	0.17	0.96	1.43	0.35	236	ND	34	252	26.1	504
15	0.31	1.35	3.39	0.77	380	2.55	32	400	20.8	621
16	0.35	1.70	3.29	0.84	512	0.87	9	523	21.6	897
17	0.45	0.93	3.56	1.13	61	0.33	19	258	455.5	371
18	0.35	0.42	0.70	0.20	97	ND	124	93	5.5	168
19	0.17	0.15	2.81	1.03	100	2.96	55	157	49.2	189
20	0.26	1.30	2.57	0.45	106	3.05	19	361	21.5	333
21	0.22	0.61	4.82	1.34	250	ND	60	405	45.5	446
22	1.03	1.07	1.30	0.27	49	0.13	21	207	30.3	118
23	0.51	2.30	3.46	1.07	727	0.75	17	582	24.3	1,001
24	1.01	0.80	5.69	0.39	114	3.99	1293	705	44.5	520
25	0.50	2.31	3.35	0.77	428	9.91	19	307	28.4	1,376

Appendix II. Continued

Sample	Na	K	Ca	Mg	Cu	Cd	Cr	Mn	Pb	Zn
No.	%		mg/kg							
26	0.35	1.24	1.90	1.34	157	0.37	59	507	15.7	298
27	0.11	0.29	7.61	0.53	58	ND	37	309	68.6	291
28	0.32	1.84	11.9	0.94	108	2.55	27	536	37.7	425
29	0.39	2.17	9.60	0.92	123	ND	10	476	9.4	514
30	0.24	0.74	4.48	0.71	165	ND	14	468	49.4	372
31	0.33	1.25	8.17	0.97	63	ND	19	443	61.6	413
32	0.32	1.35	3.68	0.48	68	5.56	135	296	31.2	313
33	0.23	0.74	2.56	0.53	164	ND	75	348	21.9	599
34	0.80	0.80	5.57	0.43	70	1.83	58	266	47.6	255
35	0.07	0.70	1.44	0.49	61	3.21	50	347	15.2	225
36	0.33	0.28	4.58	1.39	224	2.23	45	442	61.7	209
37	0.28	1.61	4.56	0.70	123	1.75	20	410	15.2	468
38	0.23	1.47	4.58	0.63	147	1.63	14	404	75.6	319
39	0.24	1.31	4.86	0.64	68	0.59	11	265	37.6	429
40	0.17	0.77	3.41	0.76	56	1.36	7	311	45.4	204
41	0.31	0.57	4.69	0.85	157	ND	487	317	88.1	381
42	0.14	0.75	1.56	0.75	114	3.75	38	354	21.7	280
43	0.16	1.06	7.92	0.60	72	ND	35	607	66.6	365
44	0.35	2.05	6.35	1.06	49	0.46	86	504	7.4	415
45	0.21	1.61	5.52	0.75	59	1.78	54	370	12.8	430
46	0.60	2.65	8.17	1.19	390	3.95	24	590	24.4	865
47	0.39	0.16	1.14	0.22	70	ND	23	235	68.0	359
48	0.23	0.51	17.59	0.32	178	0.99	27	184	11.8	435
49	0.25	1.65	3.17	0.58	56	4.15	24	534	16.8	310
50	0.35	0.82	2.59	0.47	58	ND	27	396	15.5	309

Appendix II. Continued

Sample	Na	K	Ca	Mg	Cu	Cd	Cr	Mn	Pb	Zn
No.	%			mg/kg						
51	trace	trace	0.02	0.01	1	0.25	ND	267	57.3	481
52	0.14	0.51	1.63	0.28	101	ND	91	559	79.4	321
53	0.59	0.20	10.37	0.83	277	ND	8679	401	95.1	767
54	0.97	0.55	2.40	0.42	109	ND	456	319	81.9	683
55	-	-	-	-	ND	0.07	ND	316	59.9	460
56	0.53	0.39	1.29	0.17	52	4.97	142	95	31.8	204
57	0.21	1.38	2.43	1.23	88	2.34	389	470	73.7	567
58	1.09	0.32	3.47	0.24	46	1.50	114	241	45.2	503
59	0.57	0.98	5.53	0.40	89	ND	797	304	59.6	403
60	0.46	1.79	2.61	0.54	63	3.07	23	1,038	18.4	199
61	0.32	1.33	5.92	0.99	289	ND	20	623	21	857
62	0.40	0.79	3.19	0.71	236	1.65	73	578	12.9	512
63	0.44	2.53	3.21	0.94	640	3.70	49	401	25.9	740
64	0.09	0.08	2.66	0.16	80	ND	110	146	42.5	397
65	0.57	1.91	2.53	0.75	307	ND	5	463	38	265
66	0.10	0.35	1.41	0.33	63	1.09	43	658	74	366
67	0.41	1.97	0.67	0.68	54	0.4	13	381	46.8	147
68	0.32	1.52	4.27	0.81	521	1.32	9	576	61.4	664
69	0.28	2.26	8.40	1.16	99	ND	10	495	8.3	335
70	0.43	0.63	6.27	0.72	200	ND	780	657	57.1	434
71	0.28	1.27	6.72	0.95	264	2.96	20	507	23.4	1,722
72	0.41	1.54	10.26	0.90	72	1.23	27	580	78.8	659
73	1.08	0.68	7.97	0.71	174	1.04	56	772	51.9	560
74	0.32	1.33	1.96	0.43	270	0.63	34	249	25.3	485
75	0.41	1.77	20.45	0.83	203	0.19	16	352	16.6	525

Appendix II. Continued

Sample	Na	K	Ca	Mg	Cu	Cd	Cr	Mn	Pb	Zn
No.	%				mg/kg					
76	0.39	1.47	2.64	0.59	391	ND	53	355	32.5	1,200
77	0.36	0.67	3.82	0.47	143	2.21	52	559	290.3	1,308
78	0.33	0.97	3.66	0.65	188	3.5	50	926	47.1	488
79	0.32	0.81	4.39	1.47	190	0.41	86	410	52.5	970
80	0.16	0.60	2.92	0.62	96	0.91	177	391	81.5	632
81	0.13	0.49	1.37	0.29	122	0.76	31	388	119	389
82	0.30	0.87	2.37	0.42	261	1.69	43	319	48.5	523
83	0.21	0.19	6.67	0.42	40	ND	40	160	53.7	255
84	0.10	0.67	2.52	0.35	146	11.12	2	347	15.8	256
85	trace	0.87	0.30	0.43	12	0.44	5	667	9.9	122
86	0.55	0.52	6.19	1.43	184	ND	85	225	67.3	448
87	0.07	0.43	1.09	0.49	69	2.52	44	522	98.7	383
88	0.07	0.28	1.16	0.34	62	ND	91	1,287	107.6	526
89	0.25	0.24	11.61	0.29	69	1.03	32	204	0.7	280
90	0.08	0.29	6.62	1.56	51	ND	72	724	61	259
91	0.18	0.62	1.83	0.45	85	3.41	78	705	65.9	874
92	trace	trace	0.03	trace	0	0.35	3	440	75.9	341
93	0.25	0.40	5.84	0.35	436	10.91	5,497	671	276.5	1,289
94	1.29	0.43	4.58	1.59	121	ND	583	753	78.5	802
95	0.57	0.75	3.05	0.29	55	ND	106	241	65	293
96	0.66	1.85	11.72	0.94	156	1.53	85	972	179.7	663
97	0.29	0.45	6.12	1.43	306	4.84	88	469	99.6	594
98	0.32	1.77	2.56	0.75	452	1.95	39	351	12.1	660
99	0.17	0.27	2.95	0.62	93	1.05	61	566	80.5	420
100	0.06	trace	14.08	1.32	54	ND	4,374	2150	41.4	143

Appendix III. Relative spectral reflection of commercial byproduct fertilizers

Sample No.	Wave length(nm)							
	420	460	500	540	580	620	660	700
1	4.41	5.33	6.33	7.43	8.56	10.11	11.99	14.04
2	3.82	4.87	5.99	7.21	8.49	10.12	12.18	14.31
3	3.28	4.02	4.79	5.64	6.61	8.08	9.97	12.23
4	4.89	5.78	6.55	7.35	8.19	9.01	9.85	10.78
5	2.61	2.99	3.42	4.17	5.08	6.39	8.27	10.47
6	6.32	7.55	8.76	10.07	11.21	12.79	14.59	16.64
7	2.17	2.66	3.21	3.95	4.76	6.06	7.83	10.01
8	3.83	4.57	5.31	6.22	7.06	8.41	10.08	12.09
9	2.81	3.17	3.59	4.13	4.65	5.36	6.44	7.79
10	3.14	3.81	4.89	6.29	7.98	10.41	13.73	17.56
11	2.24	2.65	3.19	4.03	4.99	6.52	8.67	11.15
12	16.57	21.58	25.95	30.85	34.75	39.21	43.74	48.25
13	2.69	3.17	3.69	4.32	5.03	6.03	7.31	8.88
14	2.69	3.17	3.79	4.72	5.80	7.39	9.45	11.84
15	3.59	4.13	4.69	5.31	5.82	6.71	7.79	8.98
16	2.34	2.54	2.89	3.34	3.76	4.48	5.47	6.72
17	4.50	5.59	6.69	8.07	9.40	11.03	13.00	15.04
18	6.64	8.26	10.09	12.11	13.95	16.39	19.19	22.46
19	3.67	4.16	4.62	5.15	5.67	6.38	7.37	8.38
20	2.72	3.20	3.84	4.75	5.77	7.32	9.44	11.95
21	3.76	4.50	5.05	5.68	6.30	7.19	8.18	9.31
22	4.53	5.44	6.43	7.53	8.56	9.82	11.21	12.85
23	2.94	3.31	3.72	4.16	4.68	5.50	6.59	7.97
24	3.59	4.34	4.99	5.80	6.61	7.69	9.06	10.75
25	2.58	2.96	3.37	3.84	4.35	5.24	6.44	7.91
26	7.30	8.46	9.58	10.81	11.94	13.25	14.90	16.67
27	7.18	8.77	10.19	11.72	13.16	15.2	17.61	20.39
28	3.82	4.55	5.29	6.19	7.01	8.27	9.84	11.64
29	4.60	5.61	6.79	8.14	9.50	11.50	14.03	16.87
30	4.27	4.97	5.59	6.29	6.91	7.69	8.38	9.08
31	2.47	2.75	3.19	3.64	4.15	4.86	5.94	7.10
32	2.62	3.10	3.63	4.27	4.99	6.10	7.59	9.38
33	4.83	5.50	5.99	6.58	7.11	7.88	8.86	10.06
34	2.81	3.39	3.99	4.72	5.43	6.62	7.99	9.67
35	3.37	4.02	4.69	5.70	6.81	8.27	10.13	12.06

Appendix III. Continued

Sample No.	Wave length(nm)							
	420	460	500	540	580	620	660	700
37	5.98	7.55	9.02	10.69	12.30	14.47	17.33	20.51
38	2.58	2.96	3.39	3.84	4.43	5.17	6.25	7.51
39	2.58	2.96	3.37	3.84	4.41	5.17	6.15	7.24
40	6.07	7.09	8.18	9.44	10.58	12.19	14.06	16.21
41	5.00	6.14	7.23	8.37	9.40	10.95	12.90	14.94
42	3.60	4.55	5.59	6.79	8.01	9.86	12.21	14.84
43	3.39	3.84	4.32	4.75	5.28	5.99	6.96	7.97
44	3.73	4.58	5.52	6.74	7.86	9.52	11.50	13.74
45	2.83	3.31	3.92	4.56	5.37	6.48	8.06	9.88
46	4.30	5.12	6.13	7.13	8.22	9.72	11.50	13.58
47	2.45	2.86	3.49	4.32	5.23	6.42	7.99	9.85
48	6.85	10.45	13.47	16.21	17.67	21.11	27.28	31.93
49	4.60	5.40	6.15	6.82	7.40	7.98	8.57	9.18
50	4.54	5.12	5.71	6.35	7.09	8.16	9.45	10.98
51	6.88	8.51	10.12	11.95	13.59	15.35	17.13	18.76
52	7.98	9.31	10.58	12.00	13.45	15.31	17.57	19.87
53	5.65	7.10	8.39	9.94	11.18	12.73	14.36	15.83
54	2.39	2.74	3.03	3.39	3.70	4.24	4.93	5.69
55	3.06	3.52	4.02	4.67	5.28	6.19	7.18	8.47
56	4.49	5.61	6.79	7.90	8.79	9.77	10.72	11.54
57	7.03	8.65	10.25	12.21	13.95	15.92	18.01	20.14
58	4.74	5.74	6.61	7.60	8.53	9.78	11.26	12.88
59	4.51	5.32	6.11	7.11	8.14	9.49	11.16	13.08
60	8.12	10.32	12.23	14.42	16.37	18.38	20.46	22.69
61	3.95	4.68	5.41	6.32	7.34	8.70	10.57	12.62
63	2.81	3.28	3.79	4.43	5.24	6.34	7.83	9.69
64	2.00	2.33	2.74	3.25	3.86	4.63	5.67	7.03
66	3.28	3.63	4.02	4.54	4.98	5.60	6.29	7.07
67	6.00	7.78	9.84	12.28	14.53	17.18	19.96	23.10
68	3.01	3.41	3.92	4.46	4.98	5.89	7.18	8.76
69	3.14	3.70	4.19	4.91	5.63	6.71	8.09	9.77
70	5.63	7.09	8.40	9.92	11.25	12.82	14.32	15.69

Appendix III. Continued

Sample No.	Wave length(nm)							
	420	460	500	540	580	620	660	700
71	2.24	2.54	2.79	3.24	3.65	4.30	5.26	6.41
72	3.14	3.60	4.19	4.91	5.63	6.81	8.38	10.26
73	3.26	3.91	4.49	5.21	5.82	6.62	7.50	8.39
74	3.03	3.81	4.69	5.89	7.21	9.05	11.49	14.31
75	9.77	13.01	16.07	19.26	22.11	25.98	30.49	35.62
76	4.94	6.14	7.39	8.69	9.97	11.77	13.93	16.28
77	2.69	3.15	3.49	3.93	4.40	5.06	5.94	6.91
78	2.71	3.10	3.42	3.87	4.44	5.17	6.10	7.18
79	3.82	4.34	4.89	5.41	5.93	6.63	7.52	8.50
80	4.27	5.08	5.87	6.59	7.32	8.09	9.08	10.18
81	2.25	2.75	3.20	3.74	4.25	4.98	5.96	7.13
82	3.15	3.71	4.20	4.82	5.44	6.44	7.82	9.50
83	4.75	5.97	7.23	8.72	10.25	12.18	13.96	15.73
84	3.62	4.26	4.92	5.65	6.47	7.66	9.24	11.05
85	4.87	6.14	7.68	9.82	12.04	15.37	19.58	24.17
86	7.97	10.16	12.38	14.74	16.40	19.56	22.35	24.96
87	3.93	4.66	5.19	6.09	6.81	7.59	8.47	9.47
88	2.63	2.96	3.19	3.64	4.05	4.57	5.36	6.31
89	8.64	10.75	12.58	14.25	15.75	17.51	19.38	21.11
90	5.33	6.51	7.44	8.54	9.57	11.01	12.60	14.35
91	5.95	7.13	8.02	9.38	10.42	11.58	12.92	14.46
92	3.83	4.57	5.21	5.93	6.65	7.53	8.62	9.85
93	3.71	4.66	5.59	6.79	7.93	9.27	10.65	11.88
94	3.38	3.81	4.20	4.63	5.14	5.76	6.55	7.42
95	5.51	6.67	7.79	8.96	9.99	11.42	13.00	14.84
96	4.53	5.65	6.83	8.26	9.75	11.59	13.27	14.94
97	7.30	9.20	10.88	12.88	14.64	16.48	18.25	19.77
98	2.41	2.71	3.06	3.41	3.83	4.47	5.46	6.63
99	4.82	5.51	6.09	6.89	7.72	8.78	10.14	11.58
100	8.37	9.81	11.25	12.88	14.43	16.59	18.97	21.41

Appendix IV-1. Relative spectral reflection during composting of
COM 1

Composting stage	420nm	460nm	500nm	540nm	580nm	620nm	660nm	700nm
1	4.62	5.69	6.85	8.03	8.99	10.28	11.85	13.95
2	3.23	4.06	4.96	6.11	6.96	8.24	9.80	11.87
3	3.47	4.28	5.21	6.31	7.16	8.34	9.85	11.77
4	3.23	3.90	4.70	5.55	6.40	7.49	9.00	10.76
5	2.95	3.57	4.29	5.10	5.94	7.09	8.60	10.40
6	2.89	3.52	4.24	5.00	5.84	6.99	8.50	10.30
7	2.89	3.41	4.14	4.90	5.69	6.89	8.50	10.40
8	2.31	2.65	3.12	3.63	4.27	5.19	6.50	8.12
9	2.25	2.60	3.02	3.58	4.11	5.04	6.30	7.91
10	2.25	2.55	2.91	3.43	3.96	4.84	6.05	7.61
11	2.31	2.60	3.02	3.58	4.21	5.24	6.60	8.37

Appendix IV-2. Relative spectral reflection during composting of
COM 2

Composting stage	420nm	460nm	500nm	540nm	580nm	620nm	660nm	700nm
1	3.06	3.68	4.24	4.85	5.38	6.14	7.35	8.83
2	4.62	5.58	6.49	7.42	8.23	9.33	10.80	12.58
3	5.08	6.06	6.95	7.98	8.94	10.18	11.80	13.60
4	3.35	3.79	4.29	4.85	5.38	6.19	7.25	8.52
5	3.29	3.79	4.34	5.00	5.64	6.44	7.55	8.88
6	2.54	2.87	3.27	3.74	4.27	5.09	6.10	7.41
7	2.60	2.87	3.17	3.58	4.01	4.64	5.50	6.60
8	2.31	2.60	2.91	3.33	3.76	4.49	5.45	6.65
9	2.77	3.09	3.42	3.79	4.16	4.79	5.75	6.85
10	2.31	2.55	2.76	3.08	3.45	4.04	4.95	6.09
11	2.31	2.55	2.76	3.08	3.40	3.94	4.80	5.94

Appendix IV-3. Relative spectral reflection during composting of
COM 3

Composting stage	420nm	460nm	500nm	540nm	580nm	620nm	660nm	700nm
1	3.45	3.99	4.47	5.13	5.85	6.75	7.75	9.07
2	3.95	4.96	5.90	7.14	8.27	9.72	11.43	13.31
3	2.99	3.45	3.93	4.52	5.25	6.15	7.35	8.67
4	3.10	3.56	4.07	4.73	5.45	6.35	7.55	8.87
5	2.76	3.13	3.46	4.02	4.54	5.26	6.26	7.36
6	2.76	3.13	3.52	4.02	4.54	5.26	6.16	7.26
7	2.64	3.02	3.35	3.82	4.34	5.06	5.96	7.06
8	2.64	3.02	3.35	3.92	4.44	5.19	6.16	7.36
9	2.53	2.91	3.25	3.72	4.24	4.96	5.96	7.06
10	2.64	2.95	3.25	3.72	4.14	4.86	5.66	6.65
11	2.41	2.70	2.95	3.22	3.63	4.17	4.77	5.65

Appendix IV-4. Relative spectral reflection during composting of
COM 4

Composting stage	420nm	460nm	500nm	540nm	580nm	620nm	660nm	700nm
1	3.29	4.06	4.85	5.81	6.65	7.99	9.80	12.07
2	2.71	3.41	4.14	5.00	5.84	7.14	9.05	11.36
3	3.70	4.44	5.31	6.21	7.06	8.24	10.00	12.23
4	3.58	4.33	5.01	5.86	6.60	7.69	9.20	11.16
5	3.06	3.63	4.29	4.95	5.64	6.74	8.25	10.15
6	2.31	2.60	3.02	3.48	4.01	4.89	6.15	7.81
7	2.31	2.65	3.02	3.48	4.06	4.94	6.30	8.02
8	2.08	2.38	2.76	3.23	3.76	4.64	5.90	7.56
9	2.37	2.71	3.17	3.69	4.37	5.39	7.00	8.98
10	2.19	2.49	2.91	3.53	4.16	5.19	6.75	8.78
11	2.08	2.38	2.76	3.33	3.96	4.99	6.50	8.52

Appendix IV-5. Relative spectral reflection during composting of
COM 5

Composting stage	420nm	460nm	500nm	540nm	580nm	620nm	660nm	700nm
1	3.93	4.60	5.31	6.06	6.85	8.04	9.70	11.62
2	4.62	5.36	6.13	7.02	7.82	9.03	10.60	12.53
3	2.95	3.41	3.83	4.39	5.03	5.84	6.95	8.32
4	2.60	2.87	3.22	3.58	3.96	4.54	5.30	6.29
5	2.60	2.98	3.32	3.79	4.37	5.19	6.25	7.61
6	3.93	4.22	4.55	5.00	5.48	6.24	7.20	8.42
7	3.00	3.25	3.68	4.14	4.67	5.44	6.55	7.91
8	2.43	2.71	3.07	3.58	4.11	5.04	6.20	7.71
9	2.25	2.49	2.86	3.33	3.76	4.59	5.70	7.00
10	2.31	2.60	2.96	3.48	4.01	4.79	5.85	7.20
11	2.25	2.60	2.91	3.43	4.01	4.84	5.90	7.31

Appendix IV-6. Relative spectral reflection during composting of
COM 6

Composting stage	420nm	460nm	500nm	540nm	580nm	620nm	660nm	700nm
1	2.54	2.98	3.53	4.24	5.03	6.09	7.60	9.39
2	2.14	2.44	2.86	3.33	3.96	4.94	6.35	8.07
3	2.14	2.44	2.81	3.38	4.06	5.09	6.65	8.57
4	2.08	2.27	2.56	2.88	3.30	3.89	4.85	6.04
5	2.08	2.22	2.45	2.78	3.10	3.64	4.45	5.58
6	1.96	2.27	2.56	2.93	3.35	4.09	5.15	6.54
7	2.19	2.49	2.86	3.33	3.86	4.64	5.90	7.51
8	2.02	2.33	2.61	2.98	3.40	4.09	5.15	6.49
9	1.85	2.06	2.20	2.42	2.79	3.34	4.20	5.33
10	1.67	1.73	1.84	2.02	2.18	2.55	3.10	3.91
11	1.85	1.90	1.99	2.17	2.39	2.75	3.35	4.11

Appendix IV-7. Relative spectral reflection during composting of
COM 7

Composting stage	420nm	460nm	500nm	540nm	580nm	620nm	660nm	700nm
1	5.54	6.99	8.59	10.15	11.42	13.08	15.05	17.91
2	4.68	5.96	7.51	9.19	10.66	12.58	14.95	18.06
3	4.79	6.12	7.61	9.19	10.46	12.18	14.20	17.05
4	5.54	7.09	8.74	10.35	11.73	13.43	15.45	18.32
5	4.91	6.23	7.77	9.34	10.66	12.43	14.50	17.50
6	4.68	6.01	7.41	8.93	10.36	12.28	14.60	17.86
7	4.62	5.96	7.46	9.19	10.66	12.58	15.00	18.26
8	4.79	6.28	7.97	9.89	11.53	13.58	16.00	19.43
9	4.91	6.23	7.87	9.69	11.27	13.28	15.70	18.97
10	4.56	5.74	7.10	8.63	10.00	11.83	14.05	17.00
11	4.45	5.69	7.05	8.68	10.21	12.23	14.65	17.76

Appendix V-1. The change of particle size index of commercial organic byproduct fertilizers of COM 1 by composting stage

Compositing Stage	Particle size(mm)								PSI
	2~0.5		0.5~0.25		0.25~0.045		0.045>		
	Fraction	Av. PS	Fraction	Av. PS	Fraction	Av. PS	Fraction	Av. PS	
1	5.56	1.25	1.34	0.38	0.71	0.15	2.39	0.02	0.76
3	6.79	1.25	0.84	0.38	0.42	0.15	1.95	0.02	0.89
5	6.47	1.25	0.92	0.38	0.49	0.15	2.12	0.02	0.86
7	6.36	1.25	0.96	0.38	0.44	0.15	2.25	0.02	0.84
9	6.52	1.25	1.00	0.38	0.39	0.15	2.08	0.02	0.86
11	5.78	1.25	1.33	0.38	0.54	0.15	2.35	0.02	0.79

¹Fraction: gram of fraction/10 gram of byproduct fertilizer, ²Av. PS: Average Particle Size, ³PSI: Particle Size Index.

Appendix V-2. The change of particle size index of commercial organic byproduct fertilizers of COM 2 by composting stage

Compositing Stage	Particle size(mm)								PSI
	2~0.5		0.5~0.25		0.25~0.045		0.045>		
	Fraction	Av. PS	Fraction	Av. PS	Fraction	Av. PS	Fraction	Av. PS	
1	6.87	1.25	1.18	0.38	0.67	0.15	1.28	0.02	0.92
3	5.76	1.25	2.21	0.38	1.18	0.15	0.86	0.02	0.82
5	6.04	1.25	1.42	0.38	1.16	0.15	1.38	0.02	0.83
7	8.15	1.25	0.66	0.38	0.18	0.15	1.01	0.02	1.05
9	7.52	1.25	1.21	0.38	0.30	0.15	0.96	0.02	0.99
11	5.38	1.25	1.97	0.38	1.10	0.15	1.55	0.02	0.77

¹Fraction: gram of fraction/10 gram of byproduct fertilizer, ²Av. PS: Average Particle Size, ³PSI: Particle Size Index..

Appendix V-3. The change of particle size index of commercial organic byproduct fertilizers of COM 3 by composting stage

Compositing Stage	Particle size(mm)								PSI
	2~0.5		0.5~0.25		0.25~0.045		0.045>		
	Fraction	Av. PS	Fraction	Av. PS	Fraction	Av. PS	Fraction	Av. PS	
1	6.33	1.25	1.13	0.38	1.03	0.15	1.52	0.02	0.85
3	7.48	1.25	1.07	0.38	0.68	0.15	0.77	0.02	0.99
7	7.61	1.25	1.03	0.38	0.62	0.15	0.74	0.02	1.00
9	7.79	1.25	1.07	0.38	0.42	0.15	0.72	0.02	1.02
11	7.73	1.25	1.30	0.38	0.55	0.15	0.42	0.02	1.02

¹Fraction: gram of fraction/10 gram of byproduct fertilizer, ²Av. PS: Average Particle Size, ³PSI: Particle Size Index.

Appendix V-4. The change of particle size index of commercial organic byproduct fertilizers of COM 4 by composting stage

Compositing Stage	Particle size(mm)								PSI
	2~0.5		0.5~0.25		0.25~0.045		0.045>		
	Fraction	Av. PS	Fraction	Av. PS	Fraction	Av. PS	Fraction	Av. PS	
1	7.40	1.25	1.37	0.38	0.46	0.15	0.77	0.02	0.98
3	5.78	1.25	2.18	0.38	0.74	0.15	1.30	0.02	0.82
5	5.85	1.25	1.85	0.38	0.94	0.15	1.36	0.02	0.82
7	4.87	1.25	2.29	0.38	1.11	0.15	1.73	0.02	0.72
9	4.76	1.25	2.94	0.38	1.24	0.15	1.06	0.02	0.73
11	4.89	1.25	3.03	0.38	1.11	0.15	0.98	0.02	0.74

¹Fraction: gram of fraction/10 gram of byproduct fertilizer, ²Av. PS: Average Particle Size, ³PSI: Particle Size Index.

Appendix V-5. The change of particle size index of commercial organic byproduct fertilizers of COM 5 by composting stage

Compositing Stage	Particle size(mm)								PSI
	2~0.5		0.5~0.25		0.25~0.045		0.045>		
	Fraction	Av. PS	Fraction	Av. PS	Fraction	Av. PS	Fraction	Av. PS	
1	5.91	1.25	1.97	0.38	0.80	0.15	1.33	0.02	0.83
3	7.16	1.25	1.29	0.38	0.55	0.15	1.01	0.02	0.95
5	6.48	1.25	1.65	0.38	0.90	0.15	0.98	0.02	0.89
7	6.30	1.25	1.63	0.38	0.93	0.15	1.14	0.02	0.86
9	6.03	1.25	1.88	0.38	1.03	0.15	1.06	0.02	0.84
11	4.06	1.25	1.62	0.38	1.96	0.15	2.35	0.02	0.60

¹Fraction: gram of fraction/10 gram of byproduct fertilizer, ²Av. PS: Average Particle Size, ³PSI: Particle Size Index.

Appendix V-6. The change of particle size index of commercial organic byproduct fertilizers of COM 6 by composting stage

Compositing Stage	Particle size(mm)								PSI
	2~0.5		0.5~0.25		0.25~0.045		0.045>		
	Fraction	Av. PS	Fraction	Av. PS	Fraction	Av. PS	Fraction	Av. PS	
1	5.91	1.25	1.81	0.38	0.70	0.15	1.59	0.02	0.82
3	5.10	1.25	2.75	0.38	0.81	0.15	1.35	0.02	0.75
5	6.76	1.25	1.83	0.38	0.32	0.15	1.09	0.02	0.92
7	6.36	1.25	1.92	0.38	0.48	0.15	1.24	0.02	0.88
9	5.68	1.25	2.45	0.38	0.65	0.15	1.23	0.02	0.81
11	5.04	1.25	2.72	0.38	1.18	0.15	1.06	0.02	0.75

¹Fraction: gram of fraction/10 gram of byproduct fertilizer, ²Av. PS: Average Particle Size, ³PSI: Particle Size Index.

Appendix V-7. The change of particle size index of commercial organic byproduct fertilizers of COM 7 by composting stage

Compositing Stage	Particle size(mm)								PSI
	2~0.5		0.5~0.25		0.25~0.045		0.045>		
	Fraction	Av. PS	Fraction	Av. PS	Fraction	Av. PS	Fraction	Av. PS	
1	5.68	1.25	1.55	0.38	0.93	0.15	1.84	0.02	0.79
3	5.41	1.25	1.84	0.38	1.02	0.15	1.73	0.02	0.76
5	5.46	1.25	1.78	0.38	0.89	0.15	1.87	0.02	0.77
7	5.40	1.25	1.94	0.38	0.86	0.15	1.80	0.02	0.76
9	5.48	1.25	1.71	0.38	0.69	0.15	2.13	0.02	0.76
11	6.00	1.25	1.15	0.38	0.93	0.15	1.92	0.02	0.81

¹Fraction: gram of fraction/10 gram of byproduct fertilizer, ²Av. PS: Average Particle Size, ³PSI: Particle Size Index.

Appendix VI-1. Estimates of capillary length(λ) and saturated hydraulic conductivity in one year aged soil by tension pair after amendment

Sample No.	Main material (manure)	Soil texture	Application amount	Capillary length (λ)	Saturated hydraulic conductivity(K_{sat})
			Mg/ha	cm	cm/hour
21	Pig	SL ¹	5	5.575	30.60
			15	2.640	34.63
			30	3.160	46.80
		SCL ²	5	6.836	7.21
			15	7.359	3.33
			30	13.404	3.25
		CL ³	5	4.797	16.96
			15	5.389	10.21
			30	7.333	4.90
40	Poultry	SL	5	1.052	49.73
			15	1.911	9.15
			30	2.356	5.86
		SCL	5	7.500	10.41
			15	6.386	11.94
			30	7.229	9.03
		CL	5	3.289	29.11
			15	5.023	11.47
			30	7.638	6.72
46	Poultry	SL	5	2.873	13.20
			15	2.196	9.92
			30	2.666	7.07
		SCL	5	11.382	5.73
			15	9.007	6.80
			30	10.403	4.36
		CL	5	11.212	9.01
			15	8.352	9.55
			30	8.380	6.35
47	Poultry	SL	5	2.050	5.98
			15	2.100	9.50
			30	1.553	19.77
		SCL	5	5.147	10.88
			15	6.653	7.38
			30		
		CL	5	7.357	13.31
			15	7.756	9.64
			30	4.452	9.85

¹SL: Sandy loam, ²SCL: Sandy clay loam, ³CL: Clay loam.

Appendix VI-2. Continued

Sample No.	Main material (manure)	Soil texture	Application amount	Capillary length (λ)	Saturated hydraulic conductivity (K_{sat})
			Mg/ha	cm	cm/hour
58	Poultry+pig	SL ¹	5	3.168	13.99
			15	1.067	75.93
			30	2.425	8.88
		SCL ²	5	9.034	5.28
			15	13.487	5.78
			30	8.337	6.95
		CL ³	5	10.151	5.74
			15	5.490	11.43
			30	10.351	4.96
68	Poultry+pig	SL	5	1.917	22.39
			15	2.478	14.04
			30	3.526	8.89
		SCL	5	8.360	5.53
			15	10.745	6.91
			30	8.446	5.84
		CL	5	8.495	11.06
			15	4.151	16.47
			30	9.506	7.99
70	Poultry+pig	SL	5	5.808	28.44
			15	13.915	4.37
			30	4.693	3.30
		SCL	5	15.586	5.11
			15	8.906	4.51
			30	7.945	3.85
		CL	5	5.102	15.98
			15	7.453	3.91
			30	5.192	4.70
77	Poultry+pig	SL	5	3.556	4.94
			15	4.168	16.35
			30	5.648	13.06
		SCL	5	1.697	37.76
			15	1.467	74.74
			30	8.348	4.38
		CL	5	6.486	8.30
			15	6.647	6.80
			30	8.179	4.45

¹SL: Sandy loam, ²SCL: Sandy clay loam, ³CL: Clay loam.

Appendix VI-3. Continued

Sample No.	Main material (manure)	Soil texture	Application amount	Capillary length (λ)	Saturated hydraulic conductivity (K_{sat})
			Mg/ha	cm	cm/hour
80	Poultry+ pig	SL ¹	5	2.135	33.38
			15	2.211	15.46
			30	5.302	33.38
		SCL ²	5	12.132	4.92
			15	7.259	6.73
			30	9.456	3.92
		CL ³	5	7.189	13.57
			15	5.769	10.09
			30	7.825	7.35
83	Poultry+ pig	SL	5	7.181	2.51
			15	3.282	3.87
			30	3.411	7.09
		SCL	5	7.602	5.40
			15	7.107	6.39
			30	5.257	6.81
		CL	5	5.628	10.32
			15	7.292	5.61
			30	7.987	4.88
84	Poultry+ pig	SL	5	1.106	38.16
			15	2.268	5.91
			30	2.048	10.39
		SCL	5	8.876	7.59
			15	10.719	5.92
			30	7.358	5.17
		CL	5	7.906	8.44
			15	5.752	8.80
			30	4.400	8.09
94	Bark	SL	5	4.157	4.87
			15	1.361	57.06
			30	1.564	26.47
		SCL	5	14.463	3.97
			15	12.769	4.08
			30	7.625	8.72
		CL	5	6.317	7.54
			15	9.919	5.72
			30	8.322	4.47

¹SL: Sandy loam, ²SCL: Sandy clay loam, ³CL: Clay loam.

Appendix VII. Estimates of capillary length(λ) and saturated hydraulic conductivity in control soil by tension pair.

Soil texture	Application amount	Capillary length (λ)	Saturated hydraulic conductivity(K_{sat})
	Mg/ha	cm	cm/hour
SL ¹	0	10.109	2.33
SCL ²	0	36.613	1.56
CL ³	0	53.138	1.78

¹SL: Sandy loam, ²SCL: Sandy clay loam, ³CL: Clay loam.

引用文献

- Aggelides S. N., Londra P. A., 1999, Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil, *Bioresource Technology*, 71(3):253-259.
- Albrecht, M.L., M.E. Watson, H.K. Tayama., 1982, Chemical characteristics of composted hard-wood bark as they relate to plant nutrition, *J. Am. Hortic. Sci.*, 107(6):1081-1084.
- Ankeny, M. D., Mushtaque Ahmed, Thomas C. Kaspar, Robert Horton, 1991, Simple field method for determining unsaturated hydraulic conductivity, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:467-470.
- Browning, G. M., F. M. Milam, 1944, Effect of different types of organic materials and lime on soil aggregation, *Soil Sci.* 57:91-106.
- Chanyasak, V., A. Katayama, M.F. Hirai, S. Mori, H. Kubota. 1983a. Effects of compost maturity on growth of kosmatsuna(*Brassica Rapa* var. pervidis) in Neubauer's pot: I. Comparison of growth in compost treatments with that in inorganic nutrient treatments as controls. *Soil Sci. Plant Nutr.* 29(3):239-250.
- Chanyasak, V., A. Katayama, M.F. Hirai, S. Mori, H. Kubota. 1983b. Effects of compost maturity on growth of kosmatsuna(*Brassica Rapa* var. pervidis) in Neubauer's pot: II. Growth inhibitory factors and assessment of degree of maturity by org.-C/org.-N ratio of water extract. *Soil Sci. Plant Nutr.* 29(3):251-259.
- Chanyasak, V., H. Kubota, 1981, Carbon/organic nitrogen ratio in water extract as a measure of composting degradation, *J. Ferment. Technol.*, 59:215-219.

- Charpentier, S., F. Vassout, 1985, Soluble salt concentrations and chemical equilibria in water extracts from town refuse compost during composting period, *Acta Hortic.*, 172:87-93.
- Chen, Y. *et al.*, 1997, Information provided on humic substances by E_4/E_6 ratios, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41:352-357.
- Epstein, E., 1975, Effect of sewage sludge on some soil physical properties, *J. Environ. Qual.*, 4(1):139.
- Estrada, J., J. Sana, R.M. Cequiel, R. Cruanas, 1987, Application of a new method for CEC determination as a compost maturity index, p. 334-340. In M. de Bertoldi *et al.* (ed.) *Compost: Production, quality and use*. Udine, Italy. 17-19 Apr. 1986. Elsevier, London..
- Finstein, M.S., F.C. Miller, 1985, Principles of composting leading to maximization of decomposition rate, odor control, and cost effectiveness, p.13-26. In J.K.R. Gasser (ed.) *Composting of agricultural and other wastes*. Seminar by the CEC, Brasenose College, Oxford. 19-20 Mar. 1984. Elsevier, London..
- Gardner, W. R., 1958, Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table, *Soil. Sci.*, 85:228-232.
- Giusquiani, P.L., M. Patumi, M. Businelli, 1989, Chemical composition of fresh and composted urban waste, *Plant Soil*, 116(2):278-282.
- Godden, B., M.J. Penninck, 1986, On the use of biological and chemical indexes for determining agricultural compost maturity: Extension to the field scale, *Agric. Wastes*, 15:169-178.
- Gupta, S. C., Dowdy, R. H., Larson, W. E., 1977, Hydraulic and thermal properties of a sandy soil as influenced by incorporation of sewage sludge, *Soil Sci. Am. J.* 41:601.

- Harada, Y., A. Inoko, 1980, The measurement of the cation-exchange capacity of composts for the estimation of the degree of maturity, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 26(1):127-134.
- Harada, Y., Inoko, M. Tadaki, T. Izawa, 1981, Maturing process of city refuse compost during piling, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 27(3)357-364.
- Hardy, G.E.S.J., K. Sivasithamparam, 1989, Microbial, chemical and physical changes during composting of a eucalyptus(*Eucalyptus calophylla* and *Eucalyptus diversicolor*)bark mix, *Biol. Fertil. Soils*, 8:260-270.
- Haug, R. T., 1980, Compost engineering. Principles and practice, *Ann Arbor Sci. Publ.*, Ann Arbor, MI.
- Hayes, M. H. B., 1985, Extraction of humic substances from soil. Humic substances in soil, sediment and water, Geochemistry isolation and characterization, Wiley Intersci., New York, 34-56.
- Inbar, Y., Y. Chen, Y. Hadar, 1989, Solidstate carbon-13 nuclear magnetic resonance and infrared spectroscopy of composted organic matter, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53:1695-1701.
- Inbar, Y., Y. Chen, Y. Hadar, 1990, New approaches to compost maturity, *Biocycle* 31:64-68.
- Inoko, A., K. Miyatsu, K. Sugahara, Y. Harada, 1979, On some organic constituents of city refuse composts produced in Japan, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 25(2):225-234.
- Jacas, J., J. Marza, P. Florensa, M. Soliva, 1987, Cation exchange capacity variation during the composting of different materials, p309-320. In M. de Bertoldi *et al.*(ed.) Compost: Production, quality and use. Udine, Italy. 17-19 Apr. 1986. Elsevier, London.

- Jimenez, E.I., V.P. Carcia, 1989, Evaluation of city refuse compost maturity : A review. *Biol. Wastes*, 27(2):115-142.
- Juste, C., P. Solda, M. Lineres, 1987, Factors influencing the agronomic value of city refuse composts, p. 388-398. In M. de Bertoldi *et al.*(ed)Compost: Production, quality and use. Udine, Italy. 17-19 Apr. 1986. Elsevier, London.
- Kelling, K. A., Peterson, A. E., Walsh, L. M., 1977, Effect of wastewater sludge on soil moisture relationships and surface runoff, *J. Water Pollu. Control Fed.*, 49:1698.
- Khalee, R., Reddy, K. R., Overcash, M. R., 1981, Change in soil physical properties due to organic waste application: a review, *J. Environ. Qual.*, 10(2):133.
- Kinsbursky, R. S., Levanon, D., Yaron, B., 1989, Role of fungi in stabilizing aggregates of sewage sludge amended soil, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:1086.
- Kladivko, E. J., Nelson, D. W., 1979, Change in soil properties from application of anaerobic sludge, *J. Water Pollut. Control Fed.*, 51(2):325.
- Klute, A., Jacob, W. C., 1949, Physical properties of sassafras silt loam as affected by long-time organic matter additions, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 14:24.
- le Bozec, A., A. Resse, 1987, Experimentation of three curing and maturing processes of fine urban fresh compost on open areas, p. 78-96. In M. de Bertoldi *et al.*(ed.) Compost: Production, quality and use. Udine, Italy. 17-19 Apr. 1986. Elsevier, London.
- Logsdon, S. D., D. B. Jaynes, 1993, Methodology for determining hydraulic conductivity with tension infiltrometers, *Soil Sci. Soc.*

- Am. J.* 57:1426-1413.
- Macrae, R. J., Mehuys, G. R., 1985, The effect of green manuring on the physical properties of temperate-area soils, *Adv. Soil Sci.* 3:71.
- Mathur, S.P., J.Y. Daigle, M. Levesque, H. Dinel, 1986, The feasibility of preparing high quality composts from fish scrap and peat with seaweeds or crab scrap, *Biol. Agric. Hortic.*, 4:27-38.
- Mays, D. A., Terman, G. L., Duggan, J. C., 1978, Municipal compost: Effects on crop yield and soil properties, *J. Environ. Qual.* 7(3)397.
- Metzger, L., Yaron, B., 1987, Influence of sludge organic matter on soil physical properties, *Adv. Soil Sci.*, Stewart, B. A., Ed., Springer-Verlag, New York, 141.
- More, J.C., J. Sana, 1987, Criteria of quality of city refuse compost based on the stability of its organic fraction, p. 321-327, in M. de Bertoldi *et al.* (ed.) *Compost: Production, quality and use*. Udine, Italy. 17-19 Apr. 1986. Elsevier, London.
- Moseier, A.R., S.M. Morrison, G.K. Elmund, 1986, Odors and emissions from organic wastes. In *Soils for management of organic wastes and waste waters*, ASA, CSCA, SSSA. 577 South Road, Madison, Wisconsin 53711. USA.
- Poincelot, R. P., 1995, The biochemistry and methodology of composting, *Conn. Agric. Exp. Stn. Bulletin*, 754.
- Poincelot, R.P., 1975, The biochemistry and methodology of composting, *Connecticut Agr. Exper. Station. Bulletin* 754.
- Pomeranz, Y., E. Meloan, 1994, *Food analysis theory and practice*, 3rd. Edition, CHAPMAN & HALL, Inc..

- Powers, W. L., G. W. Wallingford, L. S. Murphy, 1975, Research Status on effect of land application of animal wastes, EPA-660/2-75-010, USEPA, Washington, D. C.
- Preston, C.M., J.A. Ripmeester, S.P. Mathur, M. Levesque, 1986, Application of solution and solid-state multinuclear NMR to a peat-based composting system for fish and crab scrap, *Can. J. Spectrosc.*, 31(3):63-69.
- Ribalta, R., J.C. More, J. Sana, 1987, The priming effect and the respiratory rate/compost dose ratio as compost ripeness index, p. 328-333. In M. de Bertoldi *et al.* (ed.) Compost: Production, quality and use. Udine, Italy. 17-19 Apr. 1986. Elsevier, London.
- Riffaldi, R., R. Levi-Minzi, A. Saviozzi, 1983, Humic fraction of organic wastes, *Agric. Ecosyst. Environ.*, 10(4):353-359.
- Riffaldi, R., R. Levi-Minzi, A. Pera, M. De Bertoldi, 1986, Evaluation of compost maturity by means of chemical and microbial analyses, *Waste Manage. Res.*, 4(4):387-396.
- Roletto, E., B. Barberis, M. Consiglio, R. Jodice, 1985, Chemical parameters for evaluating compost maturity, *BioCycle* 26(2):46-47.
- Saviozzi, A., R. Riffaldi, R. Levi-Minzi, 1987, Compost maturity by water extract analyses, p. 359-367. In M. de Bertoldi *et al.* (ed.) Compost: Production, quality and use. Udine, Italy. 17-19 Apr. 1986. Elsevier, London.
- Smith, F. B., Brown, P. E., J. A. Russel, 1937, The effect of organic matter on the infiltration capacity of clarion loam, *J. Am. Soc. Agron.*, 29(7):521.
- Sommerfeldt, T. G., C. Chang., 1985, Changes in soil properties under annual applications of feedlot manure and different tillage

- practices, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49:983.
- Stahlschmidt, V., 1978, The biological oxygen demand by composting. In 3rd Brazilian and 1st Pan American Public Cleaning Congress, Sao Paulo, Brazil, 22-25 Aug. 1978.
- Stevenson, F. J., 1982, Humus chemistry: Genesis, composition and reaction, John Wiley & Sons, New York.
- Sugahara, K., Akio I., 1981, Composition analysis of humus and characterization of humic acid obtained from city refuse compost, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 27(2), 213-224.
- Sugahara, K., S. K., Akio I., 1984, Color change of steaw during composting, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 30(2):163-173.
- Sugahara, K., S. Koga, A. Inoko, 1984, Color change of straw during composting, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 30(2):163-173.
- Sugahara, K., Y. H., Akio I., 1979, Color change of city refuse during composting process, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 25(2)197-208.
- Tiarks, A. E., A. P. Magurak, L. CVhesnin, 1974, Physical and chemical properties of soil association with heavy applications of manure from cattle feedlots, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 38:826.
- Unger, P. W., B. A. Stewart, 1974, Feedlots wastes effects on soil conditions and water evaporation, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 38:954.
- Webber, L. R., 1978, Incorporation of nonsegregated, non-composed solid waste and soil physical properties, *J. Environ. Qual.*, 7(3): 387.
- Weil, R. R., W. Kroontje, 1979, Physical condition of a Davidson clay loam five years of heavy poultry manure applications, *J. Environ. Qual.*, 8(3):387.
- Wong, M.H., 1985, Phytotoxicity of refuse compost during the process

- of maturation, *Environ. Pollut. Ser.*, 37(2):159-174.
- Wong, M.H., L. Chu., 1985, The responses of edible crops treated with extracts of refuse compost of different ages, *Agric. Wastes*, 14:63-74.
- Wooding, R. A., 1986, Steady infiltration from a shallow circular pond, *Water Resour. Res.*, 4:1259-1273.
- Zucconi, F., A. Pera, M. Forte, M. de Bertoldi, 1981, Evaluating toxicity of immature compost. *BioCycle*. March/April:54-57.
- 농림부. 1998a. 비료생산·수입업등록현황.
- 농림부. 1998b. 비료생산·수입업등록현황.
- 농업과학기술원. 1996. 비료의 품질검사방법 및 시료 채취기준.
- 류순호. 2000. 토양사전. 서울대학교 출판부.
- 류주현 등. 1994. 식품공학실험서 I. 탐구당.
- 박동규, 명제성. 1991. 우분의 유기질비료화 연구, I. 부숙조건에 관한 연구. 한국토양비료학회지. 24(2):130-136.
- 손보균, 홍지형, 박금주. 1996. 우분뇨와 왕겨 혼합물의 퇴비화에서 정치식과 통기퇴적식의 비교연구. I. 퇴비재료의 이화학적 환경변화. 한국토양비료학회지 29(4):403-410.
- 양재의. 1998. 농업부산물 비료의 품질 판정을 위한 기준 설정. 한국과학재단보고서.
- 임동규, 문윤호, 신제성, 우기대. 1991. 우분의 유기질비료화 연구. II. 속성부숙방법. 한국토양비료학회지. 24(3).
- 임동규, 신제성. 1991. 우분의 유기질비료화 연구. I. 부숙조건에 관한 연구. 한국토양비료학회지. 24(2):130-136.
- 임동규, 정이근, 신제성, 한기학. 1991. 우분의 유기질비료화 연구. III. 부숙도 기준설정. 한국토양비료학회지. 24(4): 278-285.
- 장기운, 이인복, 임재신, 임현택. 1996. 부숙과정중 음식물찌꺼기의 식물

- 독성 평가. 한국토양비료학회지 29(3): 312-320.
- 장기운. 1995. 부산물 비료 품질 고급화를 위한 금후 발전방안. p. 70-112. 유기성 폐기물 비료의 문제점과 대책 심포지움 자료집.
- 정광용. 1995. 유기성 폐기물비료화의 문제점과 대책 심포지움. 유기질 및 부산물비료 활용상의 실제. 농업과학기술원. 17-45.
- 정광용. 1995. 환경농업을 위한 퇴비제조와 이용. 농업과학기술원.
- 조백현 등. 1996. 삼정토양학.
- 한국비료공업협회. 1999. 비료연감.
- 홍경숙, 장기운. 1996. 축산폐기물의 퇴비화 과정중 미생물상의 변동. 한국토양비료학회지 29(3):303-311.