

回分式 발효조에서 牛糞과 왕겨 混合物의 間歇 通氣 堆肥化

홍지형 · 박금주 · 손보균*

순천대학교 농과대학 농업기계공학과

Intermittent Aeration Composting of Cattle Manure with Rice Hulls in a Batch Composter

Hong Ji-Hyung, Park Keum-Joo and Sohn Bo-Kyoon*

College of Agriculture, Suncheon National University

Summary

Recently, a greater interest has been placed on the methods of aeration control for management of malorders during composting. This study was performed to evaluate the influence of the intermittent aeration method on the composting temperature and chemical components. Combinations of cattle manure and rice hulls were placed on a batch composter(3,150-L size) practically designed.

The chemical properties of the produced compost were suitable for plant growth, when composting temperature was maintained in the range from 45 to 66°C for 42 days. It should be noted that cooling effect of intake air was not significant because air temperature was as high as 30°C. Heat and aeration loss from the composter did not affect biomass decomposition by microbes during composting. Mixtures of materials with C/N ratios higher than 30 required longer composting period.

(Key words : Animal wastes, Solid composting, Intermittent aeration, Batch composter)

서 론

축산업의 집약화와 대형화에 따라서 가축분뇨 배설량이 증가되고 있다. 1995년 현재 우리나라의 가축분뇨 배설량은 연간 약 4,400만톤으로 추정되며 가축분뇨만으로도 유기물 수요는 충족이 가능하다⁹⁾. 특히 가축분뇨는 비료와 토양개량재로서 활용이 가능한 귀중한 자원이다.

가축분뇨 처리는 액상 퇴비화 처리와 건조 및 고형 퇴비화 처리가 있으나 취급 관리면에서 광

역 이용을 추진하고, 경지에 환원할 때에 이용 가능면적의 확보, 작물의 생육장애와 잡초발생 및 악취발생⁸⁾ 등의 문제가 해결될 수 있는 고형 퇴비화 방식이 보다 유리하다.

고형 퇴비화 처리법에는 밀폐형과 개방형이 있으나 시설비와 유지관리면에서 개방형이 대부분 사용되고 있다. 개방형은 재래의 자연퇴적형의 야적식과 강제 통풍퇴적식¹⁰⁾이 있다. 강제 통풍퇴적식은 통기방식에 따라서 연속식, 교반식 및 간헐식 등이 있으며, 퇴비재료 내부에 산

본 연구는 1995년도 농림수산부 농림수산 특정연구사업비 지원에 의해 수행되었음.

*순천대학교 농과대학 농화학과(Dept. of Agricultural Machinery Engineering, Agricultural Chemistry)

소를 공급하는 방식에 따라서 통풍식, 흡인식 및 교호 통풍식⁵⁶⁾ 등으로도 구분되고 있다.

강제 통풍퇴적식 퇴비화법은 퇴비발효를 효율적으로 진행하기 위하여 재료의 수분, 탄질비 및 통기량³⁴⁾을 적정 범위로 유지하여 호기성 미생물이 유기물을 분해하기 위한 최적 환경을 유지시켜 주는 것이 중요하다. 또한, 강제통풍 퇴비화법은 충분한 산소 공급으로 유기물 분해효율을 높혀 줌으로써 수분이 다소 많은 70% 수준에서도 퇴비화가 가능하며²⁹⁾ 퇴비온도는 미생물의 적정온도인 40-60℃를 유지할 수 있다. 그러나, 연속식 및 교반식 퇴비화법은 퇴비화 처리시 악취발생 및 겨울철에 분해속도 저하 등의 문제가 발생하므로 합리적인 통기법의 개발이 필요하다.

본 연구는 실용화 규모의 회분식 발효조를 제작하여 간헐통기식 퇴비화 처리를 시도하여 퇴비재료의 위치에 따른 온도 변화 및 유기물 분해특성을 구명하여 효율적인 퇴비화 시스템

을 개발하는데 필요한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

실험용 발효조는 실제 가축분뇨 처리시설에서 활용할 수 있는 용적 3.15m³ (가로, 세로 및 높이가 각각 1.5 m) 크기의 회분식 밀폐형으로서 플라스틱 하우스 내에 설치하였다. 발효조 바닥의 통기관은 내경이 10cm의 유공 파이프를 50 cm의 간격으로 3기를 설치하였다(그림 1). 퇴비재료는 우분(수분 86%)과 왕겨(수분 15%)를 각각 2:1의 용적비로 혼합하여 발효조에 1.4 m의 높이까지 투입하였다. 통기방법은 터보 브로어 소형 고압 팬으로 퇴비재료 1m³당 0.1m³/min.의 통기량을 발효온도가 50℃에 도달될 때까지 연속 통기하고 50℃ 이상이 되면서부터 타이머 작동에 의하여 15분 통기 및 45분 정지하는 간헐통기를 하였다.

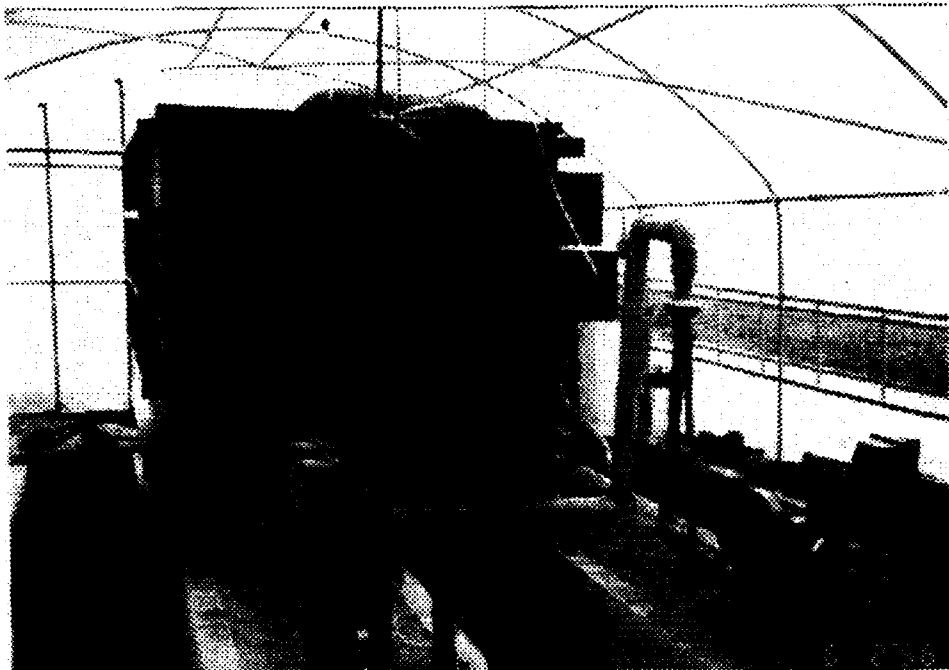


Fig. 1. Composting facilities.

퇴비화실험은 1996. 6. 7부터 7. 17까지 42일간 수행되었다. 발효조에 투입되는 공기의 온도와 상대습도, 발효조 내부의 온도 측정점의 위치는 그림 2와 같고 센서로부터 입력된 아날로그 신호는 개개의 신호처리 장치, 2개의 멀티플렉서와 1개의 16채널 A/D 변환기를 통하여 디지털 값으로 변환시켜 데이터 파일에 저장하였다. 데이터의 정확성을 높이기 위해 연속적으로 100회의 값을 입력하여 평균치를 구하였다.

조사 항목과 측정 주기는 다음과 같다. 퇴비재료의 온도, 투입 공기의 온도와 상대습도 등은 1시간 간격으로 자동 계측하였다. 퇴비재료의 pH, 수분, 유기물량, 탄질비 등은 발효시작 전에 측정하고 발효개시 후에는 7일 간격으로 5개의 위치에서 약 700gr의 시료를 취출하여 농업진흥청 분석 방법으로 3반복 평균치를 구하였다.

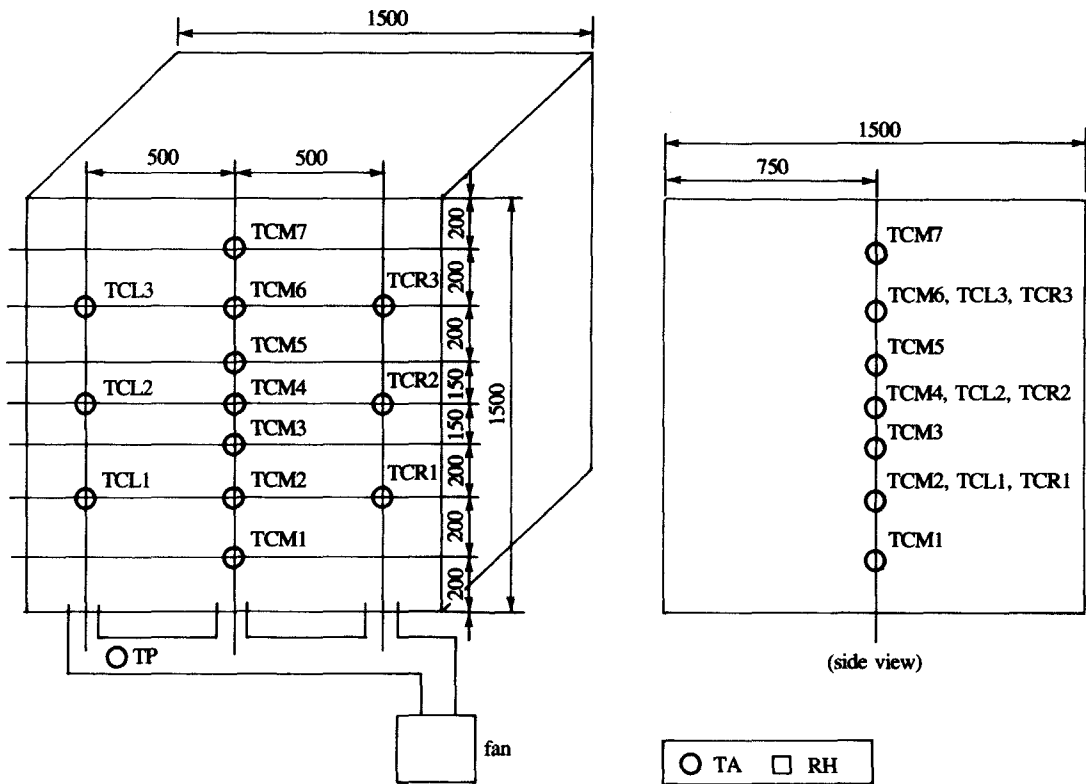


Fig. 2. Block diagram of composting system and measuring points of batch type composter.

결과 및 고찰

1. 퇴비화 과정중 온도 변화

그림 3은 발효조 외기온도(TA)와 외기습도(RH), 발효조 내에 투입공기의 온도(TP) 및 발효

조 중심부의 발효온도(TCM4)등의 변화 상태를 나타낸 것이다. 발효조 외기온도와 입기온도는 주야간의 변동폭이 컸으나 전기간 평균 30℃를 보였으며 외기온도와 입기온도의 차이는 2~3℃를 나타내고 있었다. 외기의 습도는 대체로 60%를 유지하고 있었다.

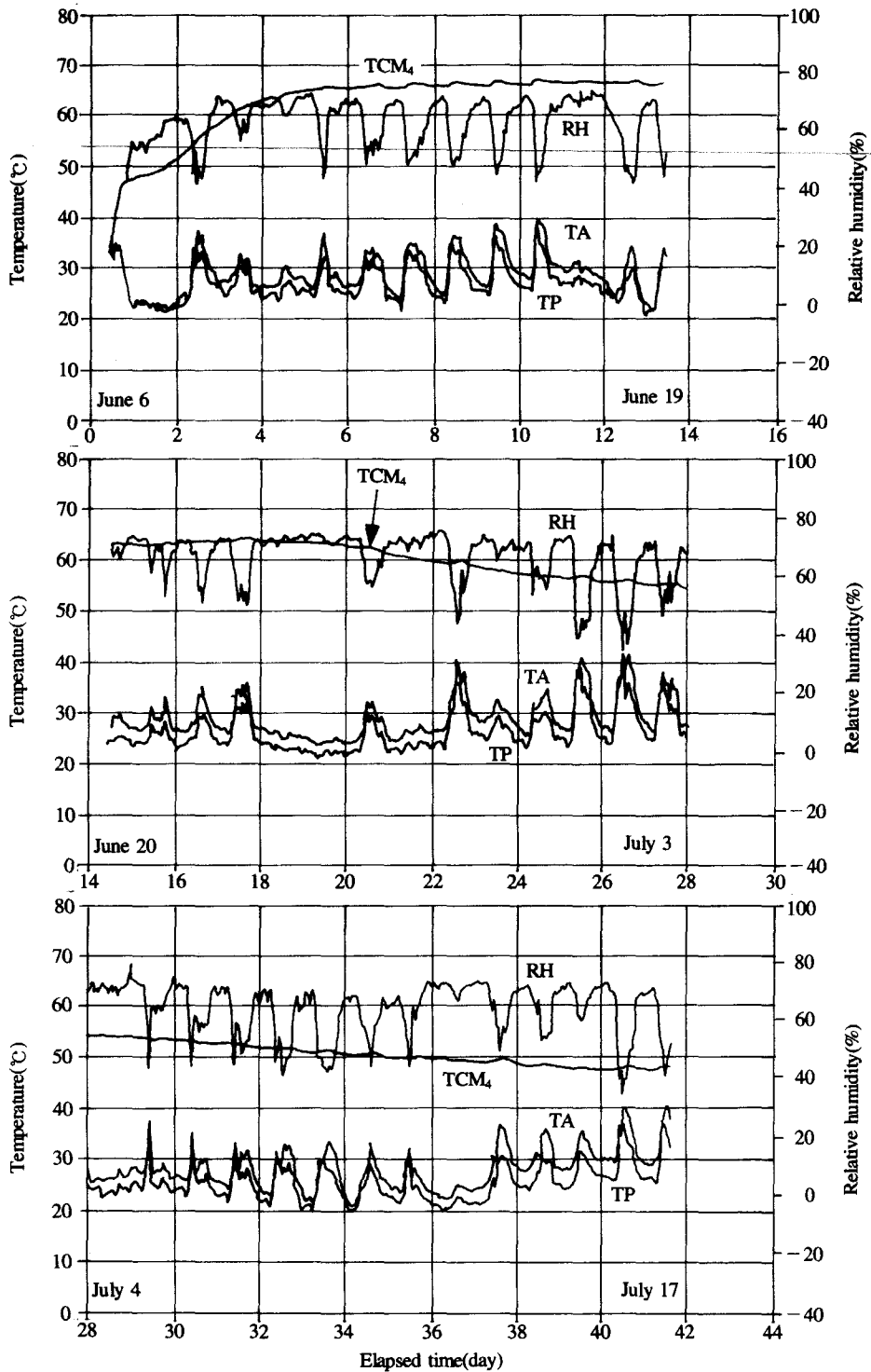


Fig. 3. Changes in ambient temperature and relative humidity, inlet air and core temperature of composter during composting.

발효조 중심부의 온도는 33℃에서 시작하여 발효 4일째까지는 급속한 온도상승이 일어나 62℃를, 6일째는 최고 66℃에 도달하였다. 그 이후에는 점진적으로 감소하여 21일째는 60℃, 36일째는 50℃, 40일째는 48℃로서 일정한 상태를 유지하고 있었다. 전 기간 동안에 40~66℃를 나타내어 호기성 미생물의 유기물 분해에는 적합한 온도를 이루고 있었으나 60℃ 이상이 9일간 지속된 이유는 입기온도의 고온과 발효조 상부의 밀폐라고 판단된다.

그림 4의 (a), (b), (c)는 발효조의 횡단면을 하층부, 중앙부 및 상층부 등으로 구분하여 온도 변화 분포를 비교 검토한 것이다.

그림 4(a)는 발효조 하층부의 온도변화 곡선으로 중앙(TCM2), 좌측(TCL1) 및 우측(TCR1)등으로 구분하여 측정한 결과로서 이들 3점의 발효온도 변화와 온도차이는 다음과 같다.

발효 후 4일째에 우측부가 최고온도 63℃를 기록하였으며, 13일째는 중앙이 60℃, 좌우측이 55℃를 나타내고 21일째는 중앙이 56℃ 좌우측이 각각 46℃, 51℃로서 중앙과 좌측 및 우측 온도차이가 각각 5℃, 10℃ 내외로서 크게 벌어진 후에 점차 줄어들어 40일째는 중앙이 47℃, 좌우측이 44℃로서 3℃의 근소한 차이를 보이고 있었다. 이러한 결과로서 알 수 있는 사실은 초기발효상태가 급속히 진행된 것과 최고온도에 도달한 이후에 발효온도 저하가 느린 것은 유입된 공기가 30℃ 이상의 고온이기 때문이라고 판단되었다. 한편, 좌우측이 중앙보다 온도가 낮은 현상은 측벽면 전열손실에 기인한 것으로 판단되었다.

그림 4(b)는 발효조 중앙부 횡단면 선상의 중앙(TCM4), 좌측(TCL2) 및 우측(TCR2)의 온도변화 분포 곡선으로 중앙과 좌우측의 온도차이가 하층부 횡단면보다 큰 폭을 유지하고 있었다. 발효 6일째 중앙의 온도가 66℃, 우측이 62℃, 좌측이 55℃로서 최고 온도에 도달한 후에 22일째에 중앙 온도는 60℃이고 우측은 54℃, 좌측은 48℃로 저하되어 중앙과 좌우측의 온도차이는 각각 12℃와 5℃를 보였다. 발효 40일째는 중

앙이 48℃이고 좌우측은 거의 같은 43℃로서 5℃의 차이를 보이면서 안정화 경향을 보이기 시작하였다.

발효초기의 급격한 온도상승과 최고온도에 도달한 다음 온도저하가 느린 경향은 입기온도가 높기 때문이다. 퇴비식 간헐 통기식 퇴비화는 유입공기의 온도, 유입공기의 유량손실 및 발효조 상부의 개폐 여부 등의 조건에 따라서 발효온도 차이가 국부적으로 나타나고 있었다.

그림 5는 발효조 중앙부 종단면 선상의 발효 온도 분포 곡선을 나타낸 것으로 상부(TCM7), 중간상부(TCM5), 중간하부(TCM3) 및 하부(TCM1) 등으로 구분하였다. 발효 시작후 6일째까지의 온도상승을 보면 중간상부와 중간하부가 상부와 하부보다 온도상승 속도가 빠르며 발효 후 20일째는 10℃의 온도차이를 보이고 40일째는 7℃의 차이를 나타내고 있었다.

퇴비화처리 과정에서 수분제거, 악취저감, 살균처리 등의 안정화를 위해서는 발효온도가 40~60℃의 범위를 유지해야 되는 바, 본 간헐통기 시험에서는 최적범위 수준을 유지할 수 있었다.

2. 성분 변화

표 1은 연속 및 간헐통기 퇴적식 퇴비화 과정에서 성분함량 변동을 분석한 결과이다. 수분은 67.3%에서 62.8%로 감소하였으며 pH는 8.3에서 왕성한 유기물 분해기간인 2주간에 약간 상승한 후에 점차적으로 감소하여 5주째는 7.7로 낮아졌다. 전탄소는 46~47%로서 거의 일정한 수준을 유지하였으며, 전질소는 1.34%에서 1.44%로 증가되어 탄질비는 35.2에서 32.1로 감소되었다. 탄질비가 크게 떨어지지 않는 이유는 퇴비화 재료가 난분해성 성분을 많이 포함하고 있기 때문인 것으로 판단되었다. 조회분은 처음보다 1.8% 증가하였다.

우분과 왕겨 혼합물의 초기 투입재료의 탄질비는 35.2로서 적정범위인 25~30보다는 비교적 높은 편으로 퇴비화 소요기간이 그림 4의 발효

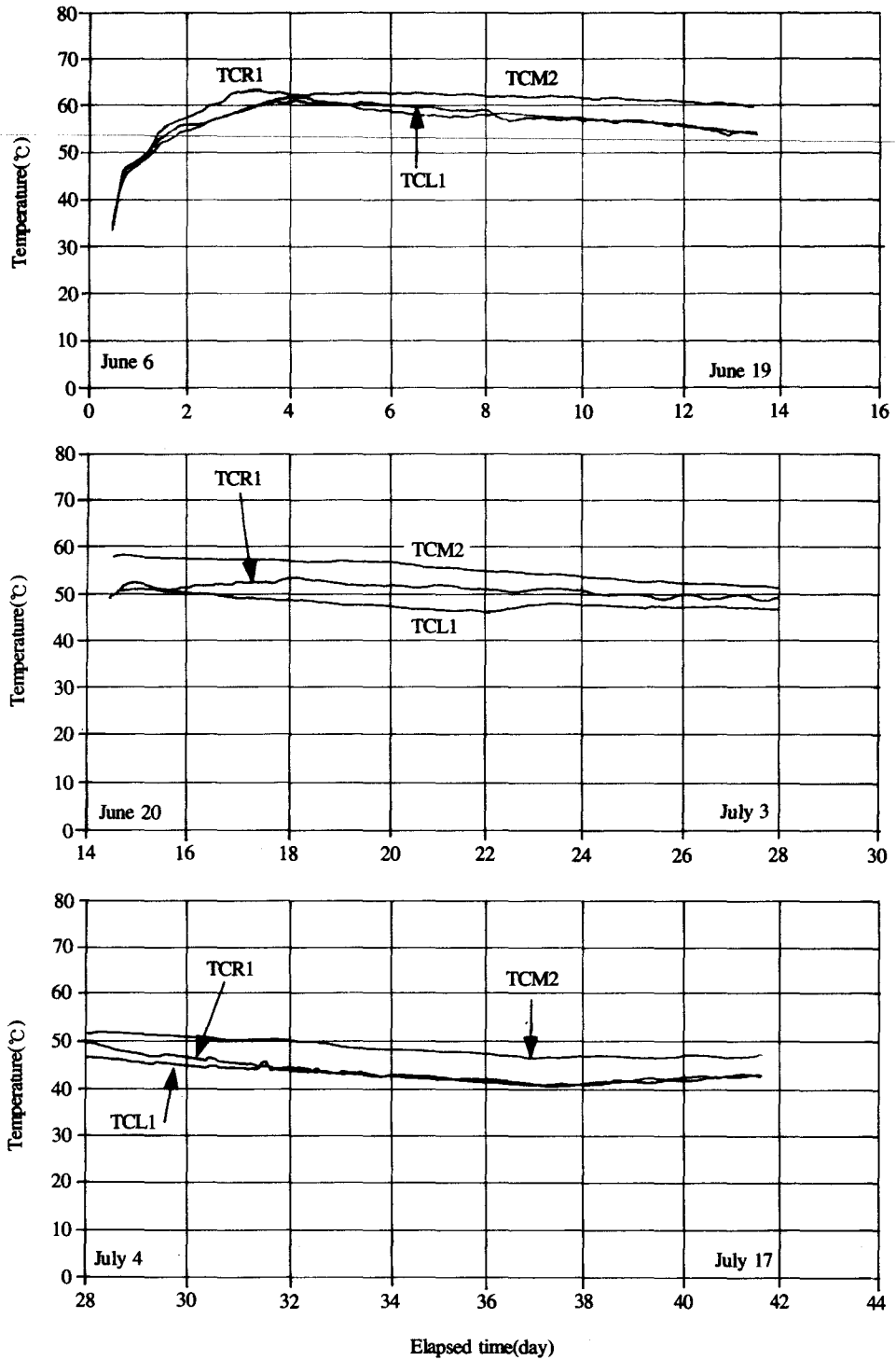


Fig. 4(a). Changes in the lower layer temperature of horizontal line during composting.

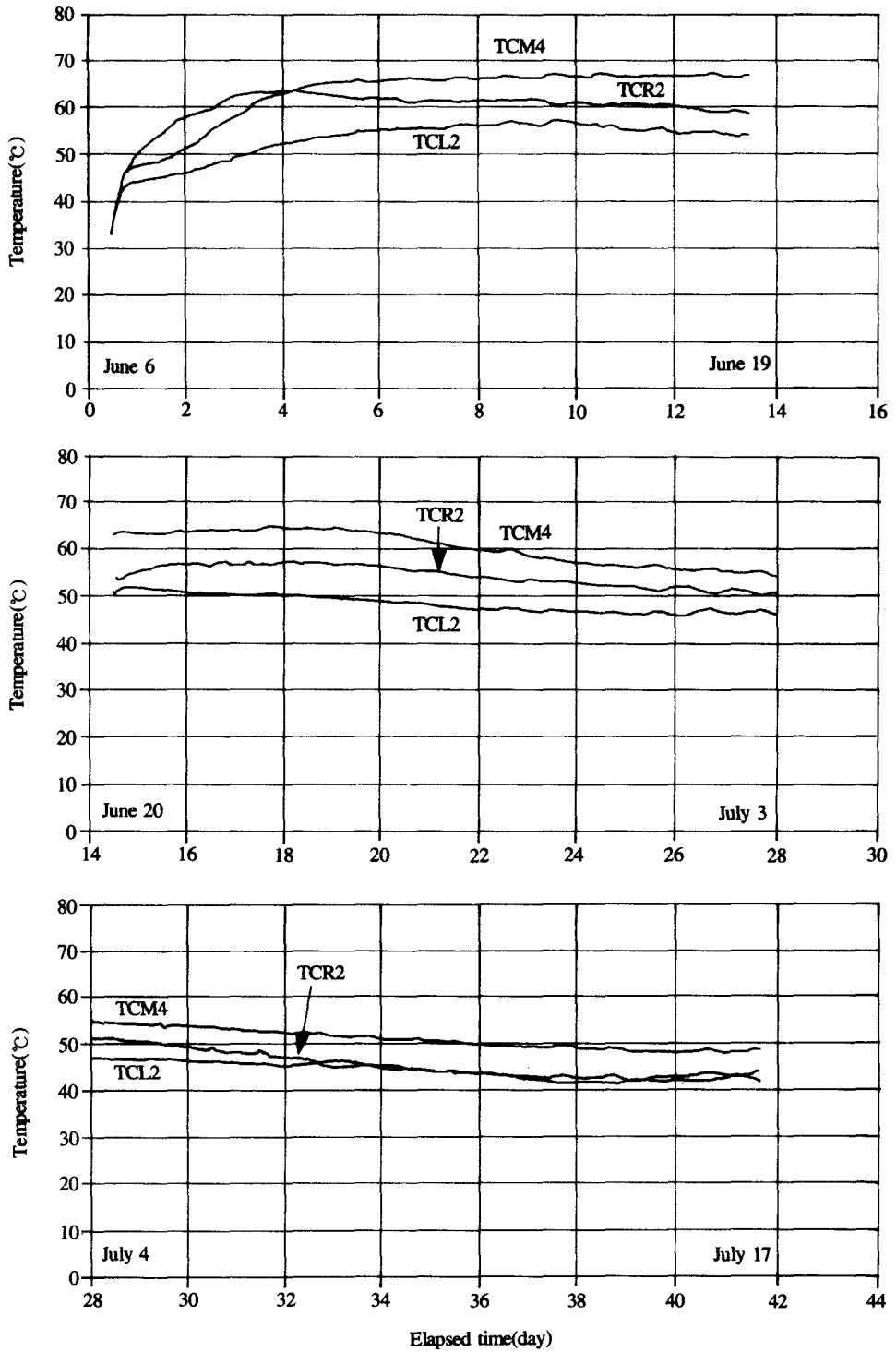


Fig. 4(b). Changes in the middle layer temperature of horizontal line during composting

홍지형 등: 우분과 왕겨 혼합물의 간헐 통기 피비화

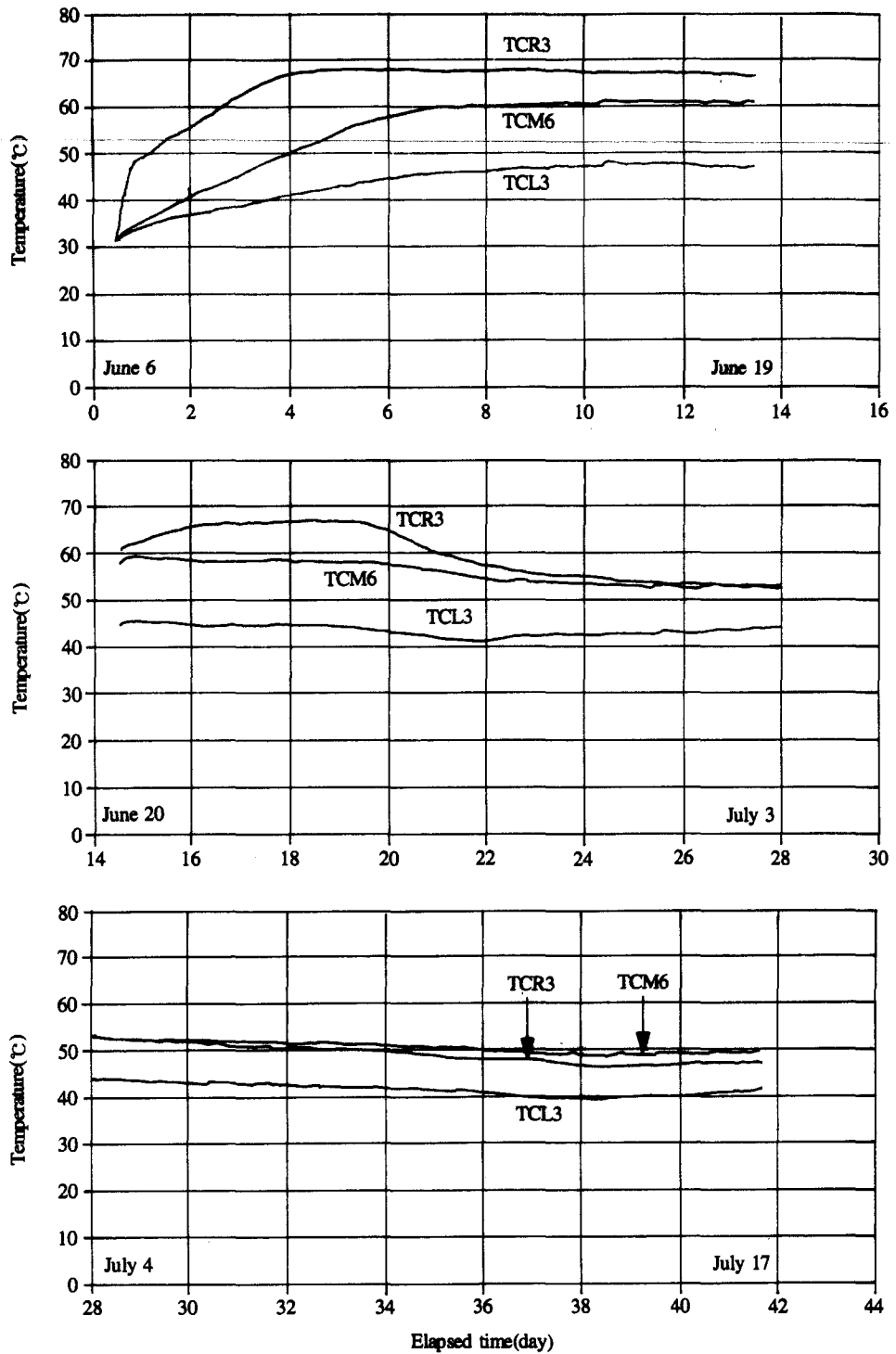


Fig. 4(c). Changes in the upper layer temperature of horizontal line during composting

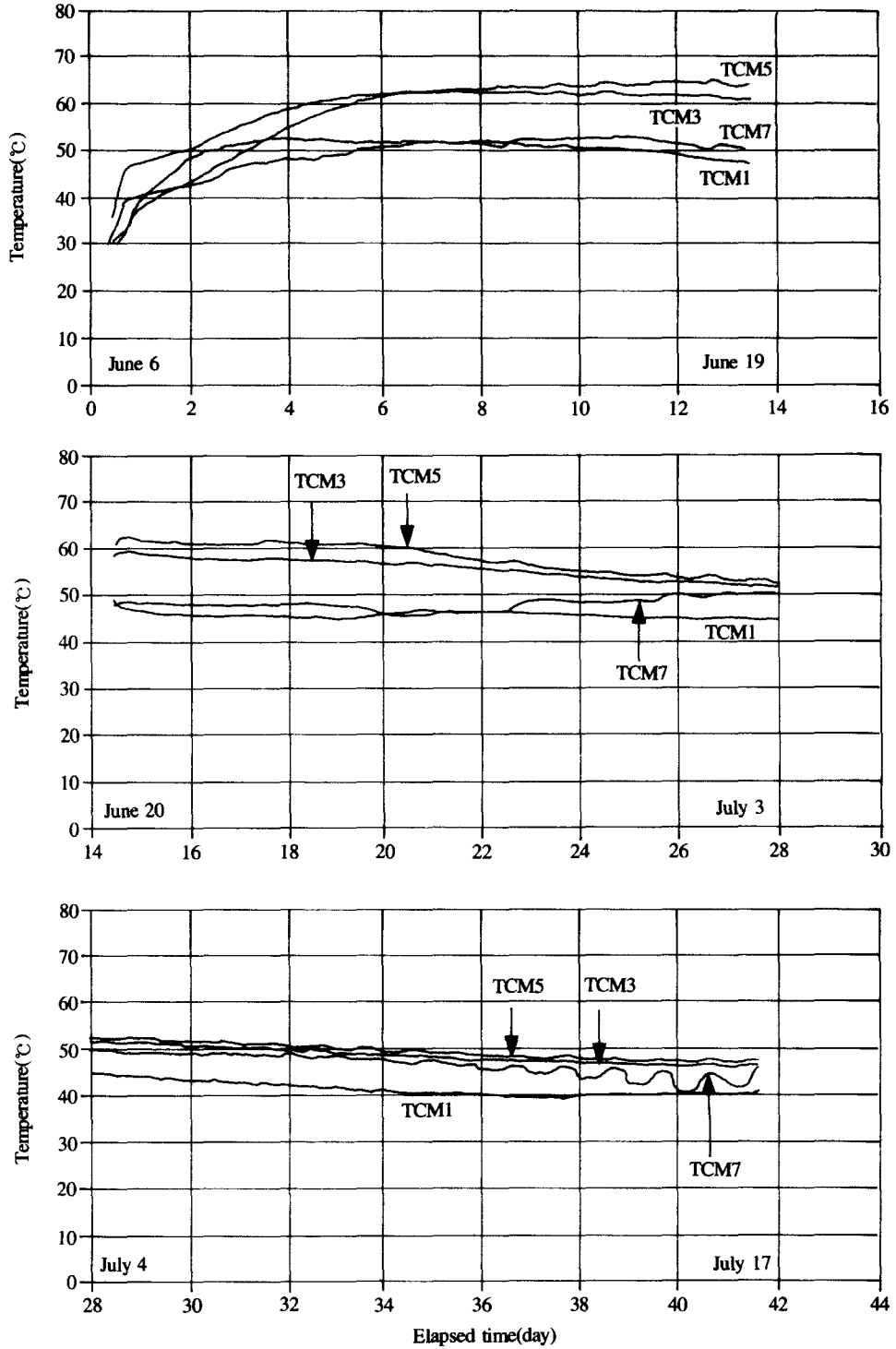


Fig. 5. Changes in the vertical point temperature during composting.

온도 변화에서 나타난 바와 같이 유기물 분해 속도가 느린 경향을 나타내고 있었다. 일반적으로 가축분뇨와 농산물 잔사 혼합물의 강제통기식 퇴비화처리 소요기간은 주발효 4주 내외, 후속 1~2개월이 소요되는데 퇴비화 처리 소요기간에는 탄질비, 수분, 통기량 등이 큰 영향을 미

치고 있다. 통기량이 적정 범위(재료 1m³당 0.1m³/min.)보다 클 때와 탄질비가 25 이하이면 암모니아 휘산량이 크며 부가재인 농산물 잔사의 입자 크기가 5mm 내외로 다량 함유된 상태에서는 수분이 70% 정도에서도 양호한 발효상태를 나타낸 것으로 보고되었다^{2,4,6}.

Table 1. Changes of chemical properties during composting

| | Composting times(weeks) | | | | | |
|---------------------------------------|-------------------------|------|------|------|------|------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Moisture content, %(wb) | 67.3 | 65.5 | 64.6 | 63.0 | 62.4 | 62.8 |
| pH(-) | 8.3 | 8.9 | 8.8 | 8.3 | 8.1 | 7.7 |
| T-C, %(db) | 47.2 | 47.1 | 46.7 | 46.5 | 46.3 | 46.2 |
| T-N, %(db) | 1.34 | 1.30 | 1.36 | 1.38 | 1.40 | 1.44 |
| C/N(-) | 35.2 | 36.2 | 34.3 | 33.7 | 33.1 | 32.1 |
| VS, %(TS) | 85.0 | 84.8 | 84.1 | 38.8 | 83.4 | 83.2 |
| P ₂ O ₅ , %(db) | 1.44 | 1.36 | 1.55 | 1.72 | 1.85 | 2.08 |
| CaO, %(db) | 0.14 | 0.15 | 0.18 | 0.20 | 0.22 | 0.24 |
| K ₂ O, %(db) | 1.34 | 1.36 | 1.35 | 1.55 | 1.66 | 1.71 |
| MgO, %(db) | 0.30 | 0.33 | 0.35 | 0.37 | 0.40 | 0.41 |
| Na ₂ O, %(db) | 0.26 | 0.26 | 0.30 | 0.31 | 0.32 | 0.39 |
| Mn, %(db) | 23.2 | 21.0 | 16.5 | 22.8 | 21.5 | 23.0 |
| Fe, %(db) | 36.0 | 35.5 | 26.8 | 32.2 | 45.2 | 35.8 |
| Cu, %(db) | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.8 | 2.5 | 2.8 |
| Zn, %(db) | 25.0 | 24.8 | 21.5 | 26.8 | 23.5 | 26.5 |

한편, 발효기간 중의 영양성분의 변화는 질소, 인산, 칼리, 산화칼슘, 산화마그네슘, 산화나트륨, 구리, 아연 등은 처음보다 증가하였으나, 전탄소는 약간 감소하고, 망간, 철분 등은 일정한 상태를 나타내고 있었다.

적 요

농축산 폐기물의 강제통풍퇴적식 퇴비화법은 흡상 및 흡인식의 연속통기법, 재료의 교반통기법 및 간헐통기법 등이 있다. 간헐통기법은 퇴비재료의 교반작업이 없이 통기하므로 악취 저감, 주 발효기간의 단축, 응축수 발생이 없는 장점을 가지고 있으므로 간헐 통기법이 고품 퇴비

화 처리에 효과적이다.

농축산 폐기물의 호기성 처리는 수분과 통기의 조절이 가장 중요하다. 본 연구에서 재료 수분은 우분에 왕겨를 용적비로 2:1로 혼합하여 67~68%의 수분으로 하고 산소공급은 퇴비재료 1m³당 0.1m³/min.의 통기량을 발효 시작후에는 연속통기를 하고, 퇴비 발효온도가 50℃에 도달할 때부터 간헐통기를 하였다.

본 실험에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

회분식 발효조에서 외기온도가 전 기간 평균 30℃인 상태에서 6주간 비 부숙조의 발효온도와 성분변화를 측정하였다. 발효조 퇴적 하층부의 좌측, 우측 및 중간점의 온도는 발효후 3~4

일째에 60~65℃로, 중간층부의 경우는 9~10일째에 55~65℃로, 상층부는 5~6일째에 45~66℃로 최고온도를 나타내고 있었으며, 각층별 좌측과 우측의 최고온도 차이는 하층에서 5℃, 중간층이 10℃ 그리고 상층에서 21℃를 보였다.

한편, 발효조 중앙 종단면의 상,하층부와 중간 상,하층부의 온도는 거의 비슷한 온도분포를 나타내고 있었으며 상,하층부는 10일째에 50~53℃를 중간 상,하층부는 12일째에 60~65℃로서 최고 온도를 나타내고 있었으며 두 층간의 온도차이는 10~12℃를 나타내고 있었다.

이와 같은 현상은 발효조에 유입되는 공기의 고온으로 인하여 조기에 발효온도가 급히 상승하고 최고온도에 도달한 후에 온도 저하가 느려서 충분한 발효를 하여 양질의 퇴비생산을 위한 조건이 조성되었다. 또한, 좌측과 우측 그리고 중간층과 상층과의 온도차이는 각각 통기저항에 따른 공기 유량손실, 발효열의 손실 등에 의하여 일어난 현상으로 판단되었다.

유효퇴적 높이가 1.4 m의 회분식 발효조의 간헐통기 퇴비화 발효온도는 42일 전 발효기간 동안에 40~66℃의 범위로서 양호한 퇴비 발효온도를 유지하고 있었다. 그러나 퇴비재료에 난분해성 왕겨를 혼합하였기 때문에 전 발효기간 중 탄질비의 변화는 크지 않았으며, 투입재료의 탄질비가 35.2로서 최적범위인 25~30보다 다소 많아서 완숙퇴비의 생산을 위한 퇴비화 소요기간이 증가되는 것을 알 수 있었다.

인 용 문 헌

1. Harada, Y. and K. Haga. 1983. Maturity of cattle waste compost. -Decomposition of organic matter during composting - Proceedings of the 5th Word Conf. Animal Prod., 2:833-834.
2. Hirai, M. F., V. Chanyasak and H. Kubota 1983. A standard measurement for compost maturity. BioCycle 24(6):54-56.
3. Hoitink, H. A. J. and H. M. Keener. 1993. Science and Engineering of Composting. Renaissance Publications, Worthington, OH.
4. Hong, J. H. 1994. Controlling factors in open composting process. Proceedings of the 12th World Congress on Agricultural Engineering. CIGR, pp. 1553-1559.
5. Leton, T. G. and E. I. Stentiford. 1990. Control of aeration in static pile composting. Waste Management & Research 8:299-306.
6. Matsuda, J. 1987. Forced air for compost making. Farming mechanization No.2839, pp. 13-15.
7. 農文協. 1995. 畜産環境對策大事典. 東京.
8. 정광용. 1996. 가축분뇨의 이용과 문제점. 한국축산시설환경학회 학술발표논문집, pp. 45-70.
9. 홍지형. 1988. 호기성발효퇴비화에 의한 농축산폐기물의 녹농지 환원이용. 한국농업기계학회지 13(3):81-90.
10. 홍지형, 정재춘. 1994. 퇴비화의 이화학적 지표 및 공정관리. 한국유기성폐기물자원화협의회학회지 2(2):99-127.