축산시설환경 : 4(2) 149~160, 1998

J. L. H. E., 4(2) 149~160, 1998

상업용 퇴비화를 위한 연속 통기식 파이로트 규모 반응조의 퇴비화 특성

홍지형 · 최병민

순천대학교 농과대학 농업기계공학과

Composting Characteristics of a Continuous Aerated Pilot-scale Reactor Vessel for Commercial Composting

Hong, Ji-Hyung and Choi, Byoung-Min

Dept. of Agric. Machinery Engineering, Sunchon Nat'l Univ., Sunchon, Korea 540-742

Summary

Hog manure slurry amended with sawdust was composted in pilot-scale reactor vessels using continuous aeration under different C/N ratios and pH conditions during composting high rate (decomposition) process. For each material two replicated piles were built and monitored over a period of three weeks. The compost piles had an initial volume of 0.18 m^3. In this study we evaluated the temperature in compost, O_2 and CO_2 evolution, aeration rate, NH_3 concentration etc. and investigated the stability of compost during composting high rate process. According to measured results, while the maximum NH_3 concentration during composting high rate was in the range of 213 to 412 ppm on 5th day which was near the optimum C/N(22~24) and pH(7.5~7.9). And then, the NH_3 concentration reduced to between 22~26 ppm by 13th day. The maximum NH_3 concentration for the lower C/N(18~19) and pH value of 6 reached 574~1,063 ppm by the 16th through 11th days and the NH_3 concentration during continuous aerated composting high rate process, it was more important to manage NH_3 gas so that compost odor is reduced.

(**Key wards**: Composting, NH_3 gas, Continuous aeration, Hog manure)

서 론

최근 가축사양의 다두화와 농촌의 도시화 경향으로 가축분뇨 및 음식쓰레기 처리 이용시설은 자가용 퇴비화 규모에서 상업용 퇴비화 규모의 상태로 점점 변화되어 가고 있다. 특히 양돈과 낙농시설은 규모 확대로 인하여 분뇨처리 과정의 대기, 수질, 토양오염 등이 큰 문제로 대두되고 있는 형편이다.

가축분뇨 처리이용은 축사형식, 배출분뇨 성

상, 노동력 유무 및 깔짚재료 확보 등의 면에서 이용방식을 선정해야 되나 최근의 경향은 노동력과 깔짚 재료의 부족 등으로 인하여 가축분뇨를 고액 분리시킨 후에 고형 및 액상 퇴비화 처리하는 추세에 있다. 그러므로, 상업용 고형 퇴비화 처리의 실제적인 응용기술 개발에 필요한 파이로트 규모 반응조의 성능 분석이 중요하다.

상업용 퇴비화 반응조 설계에 앞서 가축분뇨, 음식쓰레기 및 식품가공 후 부산물 등의 순수 유기성 폐기물의 고형퇴비화 분해과정의 퇴비온도, 통기량, 산소, 탄산가스 및 암모니아가스 농도 등의 성분에 따라서 퇴비화 성능에 미치는 영향을 분석하는 것이 필요하다.

유기성 고형 폐기물의 퇴비화 요인은 탄질비, 수분, 수소이온농도, 퇴비온도, 통기 등이며 이들 요인의 적정범위는 탄질비 20~40, 수분 55~70%(wb), 수소이온농도 7~8, 퇴비온도 45~65℃ 등이며 통기작업은 강제통기법이 흡인통기법보다 유리하다[4, 6, 9]. 고형 퇴비화 처리의 분해과정에서 통기작용의 기능은 산소공급으로 미생물 활동 이외에 수분과 탄산가스 제거, 암모니아 등 휘발성 유기화합물 제거, 발효열 제거, 수소이온농도 제어, 미생물 활동의 최적조건과 살균처리온도 유지 등으로 미생물의 유기물 분해 활동에 미치는 효과가 크며 소요 산소농도는 16% 정도이다[2, 5].

이러한 견지에서 본 연구의 목적은 유기질비료의 상업용 퇴비화 기술 개발을 촉진하기 위하여 파이로트 규모 회분식 퇴비화 분해과정의 강제연속통기형 반응조에서 동일한 재료의 초기 수분을 같게 하고 수소이온농도와 탄질비를 적정범위 및 최적수준 이하로 구분하여 3주간에 걸쳐 각각 2개의 반응조에서 호기성 처리하는 동안 재료 층위별과 반응조별 퇴비 반응온도, 산소 흡수와 탄산가스 배출농도, 평균통기량, 평균퇴비온도, 암모니아 가스농도 등의 변동 특성을 관찰하여 효율적인 연속통기 퇴적식 퇴비화 방식을 개발하는데 있다.

재료 및 방법

실험용 퇴비화 재료는 오하이오대학교 농업기술연구소 부설 양돈시설에서 돈분과 깔짚재료(톱밥)를 수거하여 사용하였다. 육돈분(75kg)과 톱밥(22kg)을 혼합한 적정수준 이하의 재료(Ⅰ) 및 종돈분(45kg), 육돈분(16kg), 톱밥(27kg) 그리고 물(18kg)을 혼합한 적정범위 재료 (Ⅱ)의 퇴비화 초기 및 분해과정 3주일 후의 이화학적 성분 조성은 각각 Table 1과 2에 나타난 바와 같다. 초기재료 수분은 두 재료 모두 60~63%로서 최적조건에 있었으며 재료 (Ⅰ)의 탄질비는 18~19, 수소이온농도는 6.2이고 재료 (Ⅱ)의 탄질비는 22~24, 수소이온농도는 7.5~7.9 등이며 이들 재료의 초기 입경분포(0.2cm 이하)는 재료 (Ⅰ)은 53~56%, 재료 (Ⅱ)는 66~68%로 나타났으며 재료 (Ⅱ)의 미세립 입경분포가 재료 (Ⅰ)보다 12~13% 더 많았다.

본 실험에 사용된 오하이오대학교 농업기술개발센터 퇴비화 실험동의 파이로트 규모 반응조 및 암모니아가스 취출시스템의 개략도는 Fig. 1과 같다.

재료 (Ⅰ)은 1997년 4월 4일부터 4월 25일까지 3주간 연속통기 퇴비화 분해과정의 퇴비온도의 변화, 산소 흡수 및 탄산가스 배출농도의 변동, 통기량, 암모니아가스 농도의 변동 등을 연속 측정 기록하였다.

본 실험에 사용된 퇴비화 처리 시스템은 회분식 원통형 반응조(직경 : 57cm, 퇴적고 : 73cm, 용적 : 208ℓ)와 통기 팬, 가스 추출 및 분석장치, 온도제어 및 계측장치, 데이터 수집장치, 컴퓨터와 데이터 저장장치 등으로 구성되었다. 원통형 반응조는 표면에 50mm의 단열재를 부착하고 상부에 뚜껑을 두어 배기가스의 열 손실과 수증기의 냉각을 억제하여 응결수 발생을 저지시켰다. 반응조 내부는 아연도금한 강판을 하부에서 20cm 위치에 두고 균일한 공기가 공급되게 하였다. 반응조에의 공기 공급은 2개의 소형 및 중형팬을 작동하여 공기를 내경 4.76

Table 1. Composition of raw material and fresh compost during the continuous aerated composting high rate (decomposition) process-Test(I)

Parameter	Vessel #1		Vessel #2	
	Raw material	Fresh compost	Raw material	Fresh compost
pH (−)	6.2	7.4	6.2	7.8
MC (%, wb)	59.5	55.8	63.0	53.4
VS (%, db)	88.8	89.4	90.0	88.5
T−C (%, db)	44.3	43.4	45.9	42.6
T−N (%, db)	2.51	2.33	2.36	2.40
C/N (−)	17.6	18.6	19.4	17.8
Depth (m)	0.69	0.58	0.70	0.59
Volume (m^3)	0.18	0.15	0.18	0.15
Wet weight (kg)	95.5	66.1	94.8	75.3
Dry weight (kg)	38.7	29.2	35.1	35.1
Wet density (kg/m^3)	543	447	530	502
Dry density (kg/m^3)	215	195	195	234
Practice size Distribution (%, db)				
> 0.57cm	4.4	5.6	6.2	5.9
0.4 ~ 0.57	10.9	6.8	8.2	8.5
0.2 ~ 0.4	31.4	22.8	30.0	21.9
< 0.2cm	53.3	64.8	55.6	63.7

Each composition value is the average of two sample.

Table 2. Composition of raw material and fresh compost during the continuous aerated composting high rate (decomposition) process-Test(II)

Parameter	Vessel #1		Vessel #2	
	Raw material	Fresh compost	Raw material	Fresh compost
pH (−)	7.9	6.9	7.5	6.8
MC (%, wb)	61.9	54.3	59.0	53.9
VS (%, db)	12.48	11.52	9.6	12.24
T−C (%, db)	40.72	36.53	42.88	39.18
T−N (%, db)	1.86	1.97	1.77	1.92
C/N (−)	21.9	18.5	24.2	20.4
Depth (m)	0.70	0.59	0.70	0.60
Volume (m^3)	0.18	0.15	0.18	0.15
Wet weight (kg)	95.07	56.34	95.07	56.97
Dry weight (kg)	36.22	25.75	38.98	26.26
Wet density (kg/m^3)	528	376	528	380
Dry density (kg/m^3)	201	172	217	175
Practice size Distribution (%, db)				
> 0.57cm	6.0	5.9	7.5	6.0
0.4 ~ 0.57	6.8	6.8	8.6	7.6
0.2 ~ 0.4	19.1	17.7	18.4	19.2
< 0.2cm	68.1	69.6	65.5	67.2

Each composition value is the average of two sample.

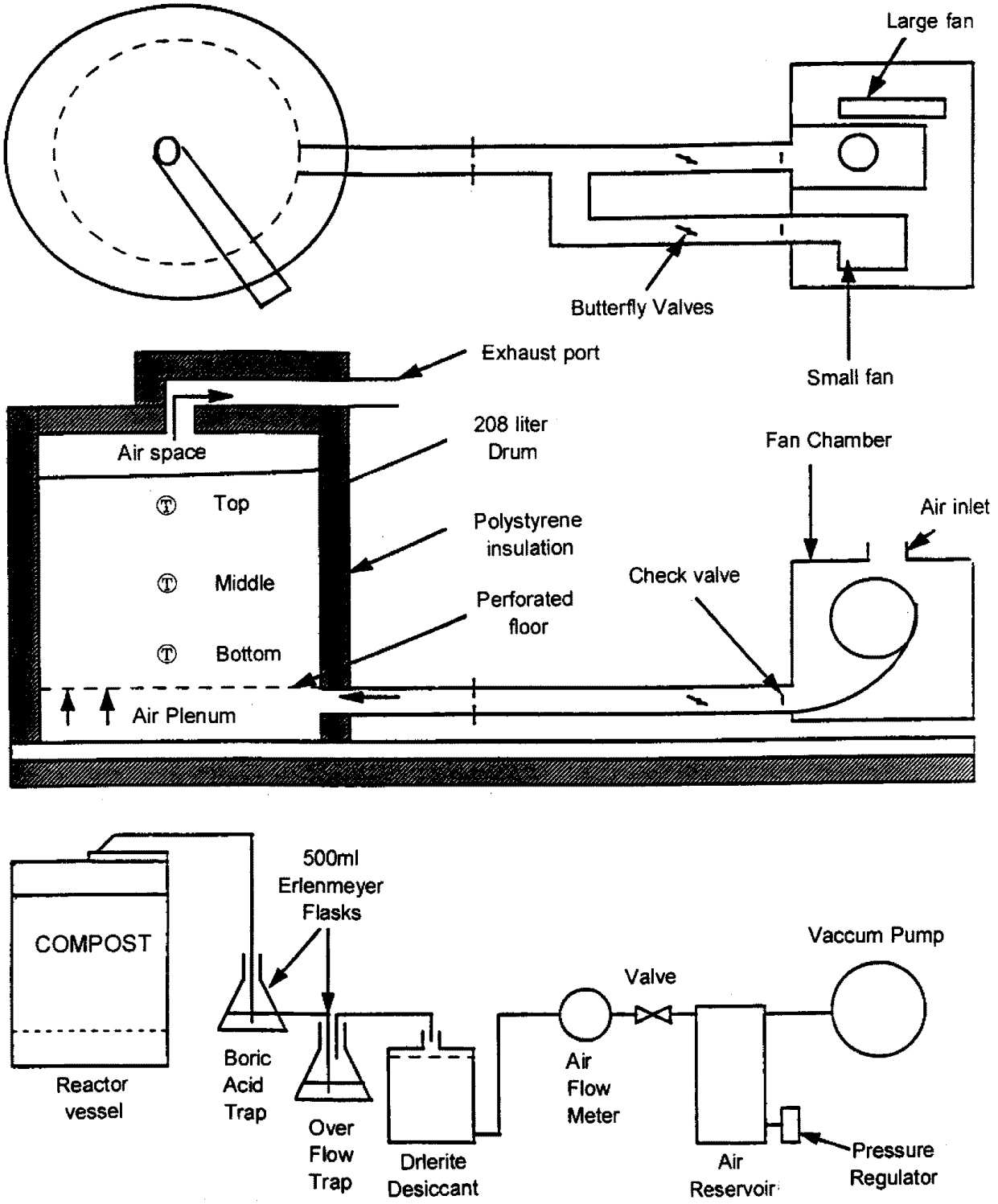

Fig. 1. Schematic illustration of a reactor vessel and the ammonia sampling system.

cm의 PVC 파이프 내를 유동시켰다. 연속통기의 반응조에 소형팬(1/250HP, 통기량 : 11ℓ/min)으로 공기를 공급하고 퇴비 평균온도가 설정온도(60℃)에 도달하면 온도조절 장치의 조작으로 대형팬(1/25HP, 통기량 36ℓ/min)이 작동되면서 설정온도 이하로 유지되게 하였다.

가스 유출은 반응조별로 연속 기록되게 하였으며 투입공기의 노점온도(EG & G Model 911,

Dew All Digital Humidity Analyzer) 및 탄산가스와 산소농도(Beckman Model 864, Infrared Analyzer와 MSA Oxygen Analyzer 4000) 등으로 매시간 기록하였다. 한편, 각 반응조 별로 다섯 점의 K 열전대를 설치하였으며 제 1점은 퇴비재료 상부의 배기층에 위치하고, 제 2, 3, 4점은 퇴비재료 상부에서 각각 24, 47, 73cm 지점의 중심부에 고정되고 나머지 제 5점은 퇴비재료 하층부 공기 유입구층에 고정되었다. 이 밖에 반응조 외부의 실내온도와 팬 작동시간을 반응조 별로 15분 간격으로 데이터 로거를 이용하여 기록하였다.

퇴비화 분해과정의 배기가스내 암모니아 농도는 반응조 별로 하루에 한 번씩 측정하였으며 Elwell 등[3]이 기술한 바에 의하여 암모니아 추출은 200mℓ의 붕산트랩을 사용하였다. 퇴비화 분해과정의 암모니아는 200mℓ의 산트랩으로 수집되었으며, 산트랩은 42gr/ℓ의 붕산과 브롬 크레솔 그린-메틸레드 지시약의 용액[7]이었으며 트랩을 통한 유출율은 반응조 전체공기량(소형팬 기준)의 7%인 1ℓ/min이었다. 트랩은 대략 24시간마다 교체하였으며 트랩에서 암모니아 량의 결정은 붕산용액을 0.7N의 염산에 적정(滴定)하면서 용액이 녹색에서 분홍색의 변화를 적정의 종말점으로 규정하였다. 적정하는 동안에 소비된 염산 mℓ당 암모니아태 질소는 9.29mg을 기준으로 한다. 암모니아 농도는 다음 식으로 산정하였다.

$$\text{암모니아(ppm)} = \frac{\text{염산(m}\ell\text{)} \times 9.29\text{mg}(NH_3\text{-N})/\text{m}\ell}{\text{유출율(암모니아 추출) }\ell\text{/min} \times \text{시간(min)}} \times \left[\frac{\text{몰}}{14\text{g} \cdot \text{N}}\right] \cdot \left[\frac{22.4\ell}{\text{몰}}\right]$$

최종적으로 실험기간의 모든 데이터를 이러한 목적으로 작성된 컴퓨터 프로그램[8]에 입력하여 처리하였으며 또한 이 프로그램은 퇴비화 과정의 열과 공기의 유동, 암모니아태 질소 손실 및 물질수지 등을 산정할 수 있었다.

실험재료의 분석은 돈분을 콘크리트 바닥에 배합 기준량 만큼 쏟아 놓고 톱밥과 물을 소요량 크기로 넣은 후 인력으로 혼합 교반하여 반응조에 투입할 때와 분해과정 3주간이 끝날 때에 퇴비재료 6개소 위치에서 임의로 800g씩 두 개의 샘플 봉투에 수거하엿다. 첫 번째 봉투 시료는 전탄소, 전질소, 탄질비, 유기물량, 수소이온농도 등의 화학성분 분석에 이용하였으며 분석법은 오하이오 농업연구개발센터 연구분석실에서 표준실험법으로 산출하였으며 두 번째 봉투 시료는 수분 측정, 입경분포 분석에 사용되었다. 수분은 2일간 100℃로 가열 처리하여 처리 전후의 시료 무게를 측정하고, 입경분석은 ASAE STANDARDS[1]에 의해 산정하였다.

결과 및 고찰

Table에는 표시되지 않았지만 돈분과 톱밥의 주요 성분은 다음과 같다. 육돈분, 종돈분 및 톱밥재료는 수소이온농도가 각각 5.5~6.5, 7.3, 3.0이며 수분이 각각 72~75%, 77%, 5.4%이고 탄질비가 각각 12, 12, 215이고 밀도는 돈분이 940kg/m³, 톱밥이 270kg/m³이었다.

재료 (Ⅰ)과 (Ⅱ)의 분해과정 전후의 이화학적 성상은 각각 Table 1과 2에 나타낸 바와 같다. 생돈분은 탄질비가 12, 수분이 72~75% 및 77%의 범위에 있었다. 이러한 조건을 퇴비화 초기재료 최적조건에 맞추기 위하여 톱밥(탄질비 215, 수분 5.4%)을 사용하였으며 혼합재료 수분은 60~63%이고 탄질비는 18~24의 범위에 있었다. 재료 (Ⅰ)은 최적치보다 낮은 탄질비 18~19와 수소이온농도 6.2이었고 재료 (Ⅱ)는 탄질비 22~24와 수소이온농도 7.5~7.9로서 적정범위에 가깝게 있었다. 이들 재료 (Ⅰ)과 (Ⅱ)의 분해과정 후의 성분 변화는, 수분은 모두 감소하여 53~56%이었고 탄질비는 18~20의 범위로서 일반 퇴비와 비슷하였다. 한편, 미

세립(0.2cm 이하)의 입경 분포는 재료 (Ⅰ)과 (Ⅱ)가 각각 64~65%, 67~70%로서 분해 전보다 재료 (Ⅰ)은 10%가 증가하였으나 재료 (Ⅱ)는 변화가 없었다.

한편, 밀도의 변화는 재료 (Ⅰ)은 530~540kg/m³에서 447~502kg/m³으로 감소 되었으나 재료 (Ⅱ)는 528kg/m³에서 380kg/m³으로 큰 차이를 보였다. 이러한 재료 (Ⅰ)과 (Ⅱ)의 이화학적 성상변화로서 재료 (Ⅱ)가 (Ⅰ)보다 분해과정의 퇴비화 성능이 양호하다는 것을 알 수 있었다.

재료 (Ⅰ) (반응조 1과 2) 및 재료 (Ⅱ) (반응조 3과 4)의 분해과정에서 퇴비화 온도변화(Fig. 2)와 산소 흡수 및 탄산가스 배출농도 변화(Fig. 3)를 통하여 재료 (Ⅰ)이 재료 (Ⅱ)보다 변화곡선에서 변동폭의 고저차이가 심한 현상을 나타내고 있었으며 퇴비온도 변화에 따라 탄산가스 배출농도의 변동이 일어나는 것을 알 수 있었다. 탄산가스 배출농도는 퇴비온도 50~60℃에서 5~10% 범위이었으며 재료 (Ⅱ)가 7일째부터 3% 이하로 감소되어 재료 (Ⅰ)보다 더 빨리 안정화되었다. 따라서, 적정 퇴비화 온도수준(45~65℃)에 도달하는 시간과 탄산가스 농도가 격감하는 시간을 비교할 때에 초기재료의 탄질비, 수소이온농도, 미세립의 입경 분포 등이 퇴비화 분해과정의 퇴비화 성능에 큰 영향을 미치고 있다고 판단되었다.

Fig. 4에서 통기량 변동, 평균 퇴비온도 및 암모니아가스 농도 등의 변화를 볼 때에 재료 (Ⅰ)보다 재료 (Ⅱ)가 퇴비화 성능이 양호함을 알 수 있었다. 재료(Ⅰ)의 통기량은 0.28~0.63ℓ/min·kg·DM이고 재료 (Ⅱ)의 통기량은 0.3~1.02ℓ/min·kg·DM의 범위를 나타내고 있었다. 재료 (Ⅱ)는 이틀째에 최고통기량 1.0~1.02ℓ/min·kg·DM을 유지한 뒤에 점차 감소하여 7일째부터는 0.34~0.43ℓ/min·kg·DM으로 일정수준을 유지 하였으나 재료 (Ⅰ)은 시작부터 0.34~0.63ℓ/min·kg·DM으로 변동폭의 증감이 큰 경향을 나타내고 있었다. 한편, 평균 퇴비온도 변화는 재료 (Ⅱ)는 통기 분해과정 1주일째에 최적 분해온도 50℃에 도달하였으나 재료 (Ⅰ)은 6일째에 50℃에 도달하였다. 이러한 이유는 재료 (Ⅰ)의 수소이온농도가 6.2로 낮고 탄질비와 미세립분포가 재료 (Ⅱ)보다 낮은 적정수준 이하에 있기 때문이라고 판단되었다.

재료 (Ⅰ)에서 암모니아가스 농도는 퇴비온도가 40℃ 이하인 상태에서는 거의 발생치 않았음을 알 수 있었으며 퇴비온도가 서서히 증가하는 경향(45℃ 이상)을 보여 분해과정의 소요기간이 늦어지고 암모니아가스 농도도 7일째 이후부터 크게 증가하는 현상을 나타내고 있었다. 그러나 재료 (Ⅱ)는 이와는 정반대로 통기량, 퇴비온도 및 암모니아가스 농도 등이 각각 1일째, 5일째에 최고치를 나타내고 7일 이후부터 분해과정이 끝나고 안정화 과정에 진입되는 현상을 나타내고 있었다. 재료 (Ⅰ)은 분해과정 11일째에 1,063ppm(56℃)과 16일째에 574ppm(51℃)으로서 최고치이며, 재료 (Ⅱ)는 5일째에 각각 213ppm(54℃)과 412ppm(58℃)으로서 최고치를 나타내고 있었다. 이와 같이 거의 비슷한 온도 수준에서 암모니아가스 농도가 큰 차이를 나타내는 것은 초기재료의 탄질비에 크게 관련된 것으로 판단되었다. 따라서, 퇴비화 분해과정의 암모니아가스 저감화 및 분해기간 단축을 위해서는 초기재료의 탄질비가 25~30에 가깝고 수소이온농도가 7~8의 범위로서 적정수분 60% 내외, 미세립(0.2cm 이하)의 분포가 65% 정도 유지되어야 된다고 판단되었다. 다시 말하면, 퇴비재료의 초기 수분, 밀도가 같은 수준에 있다 하더라도, 탄질비 20 이하, 수소이온 농도가 7 이하이거나 미세립분포(0.2cm 이하)가 60% 이하 상태이면 Fig. 2, 3, 4에 나타난 바와 같이 분해과정의 소요기간이 7일 이상 소요되고 또한 암모니아가스 농도가 최대 허용농도 50 ppm[10] 이하를 유지할 수 없게 되어 대기오염 방지를 위한 생물학적 탈취시설을 설치해야 된다고 판단되었다.

Fig. 4에서 퇴비화 분해과정에서 암모니아가스 농도 변화를 비교하면 재료 (Ⅰ)은 분해과정

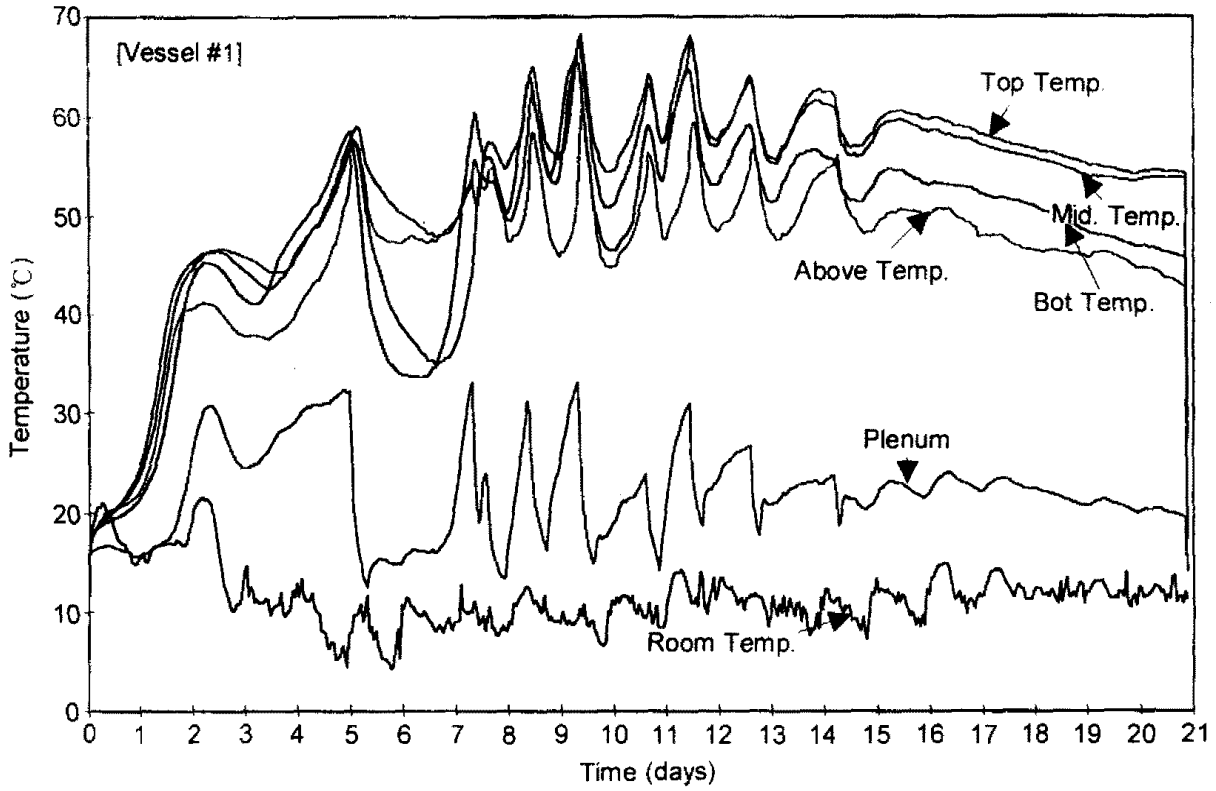

Fig. 2A. Change in compost temperature at various locations using a continuous aerated composting high rate process-Test (I).

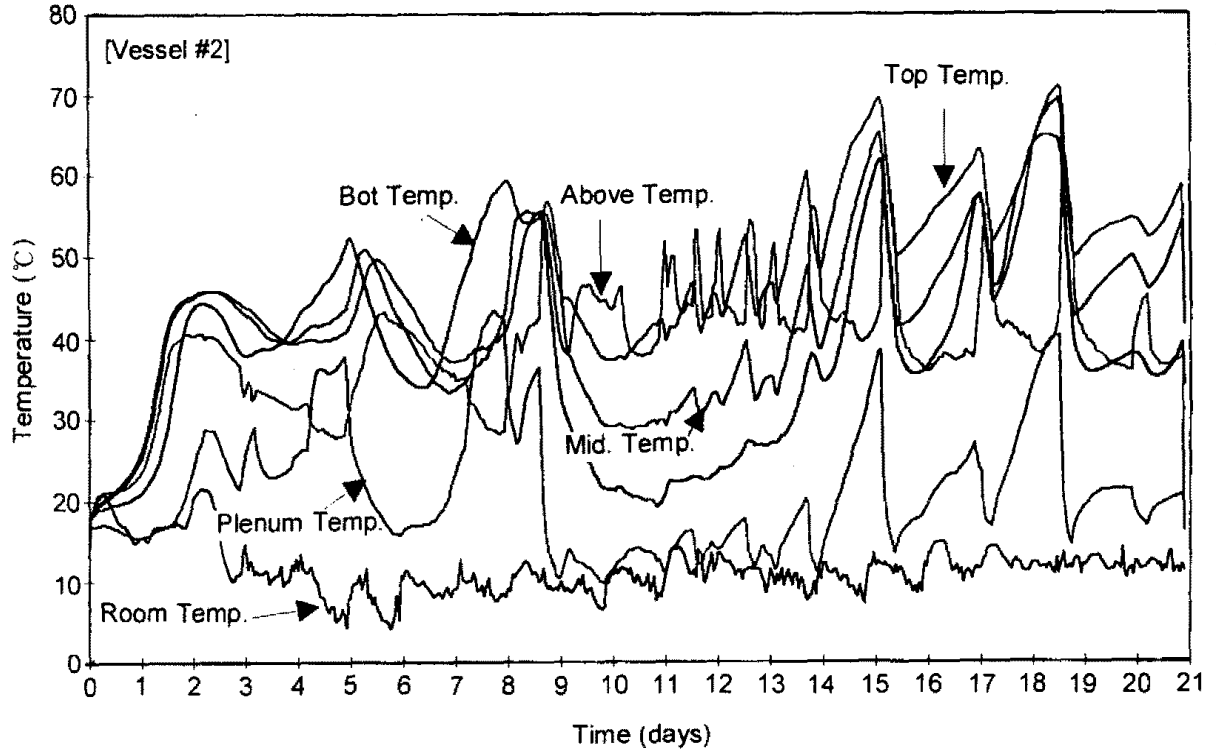

Fig. 2B. Change in compost temperature at various locations using a continuous aerated composting high rate process-Test (I).

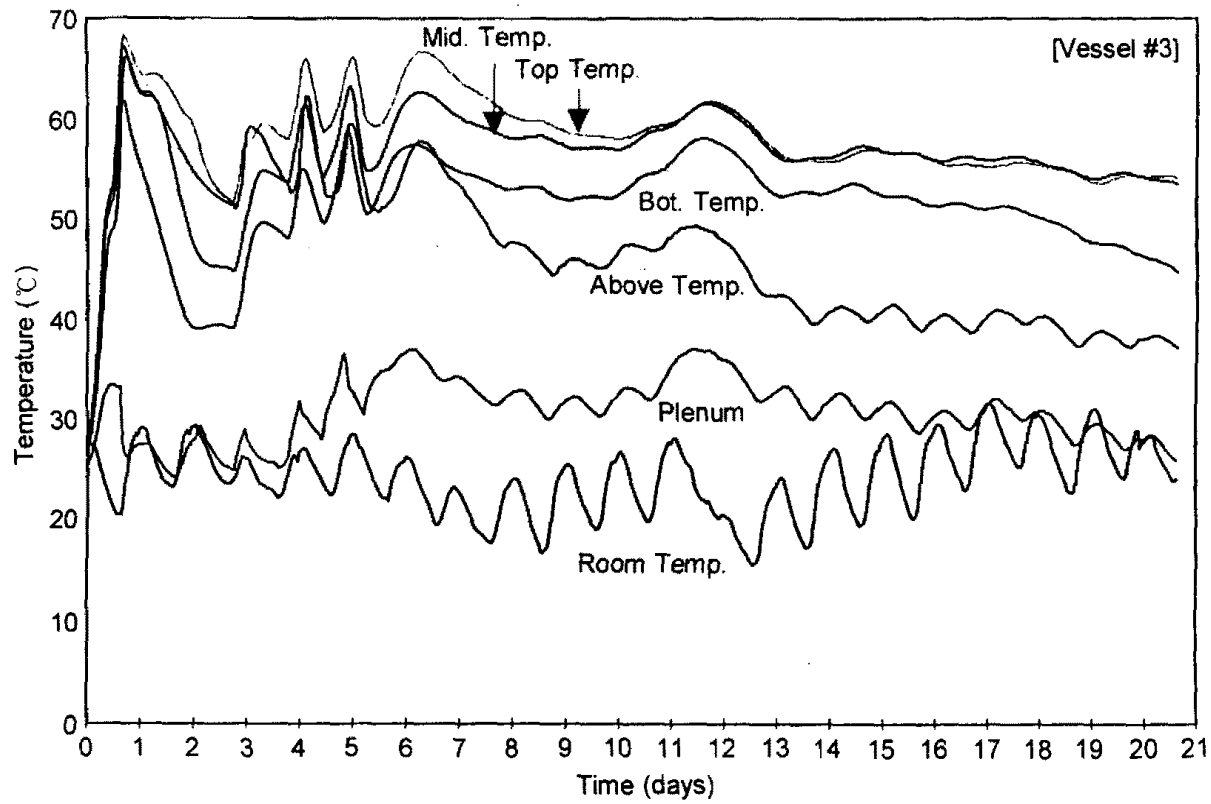

Fig. 2C. Change in compost temperature at various locations using a continuous aerated composting high rate process-Test (Ⅱ).

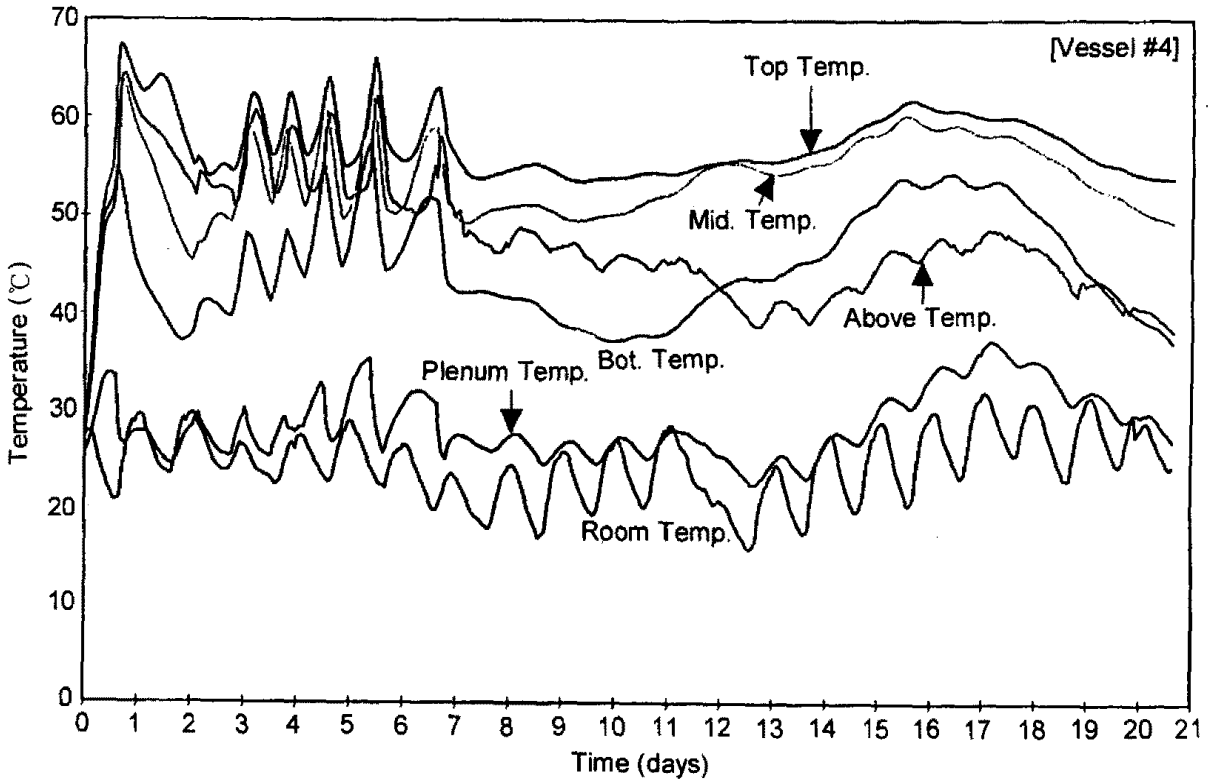

Fig. 2D. Change in compost temperature at various locations using a continuous aerated composting high rate process-Test (Ⅱ).

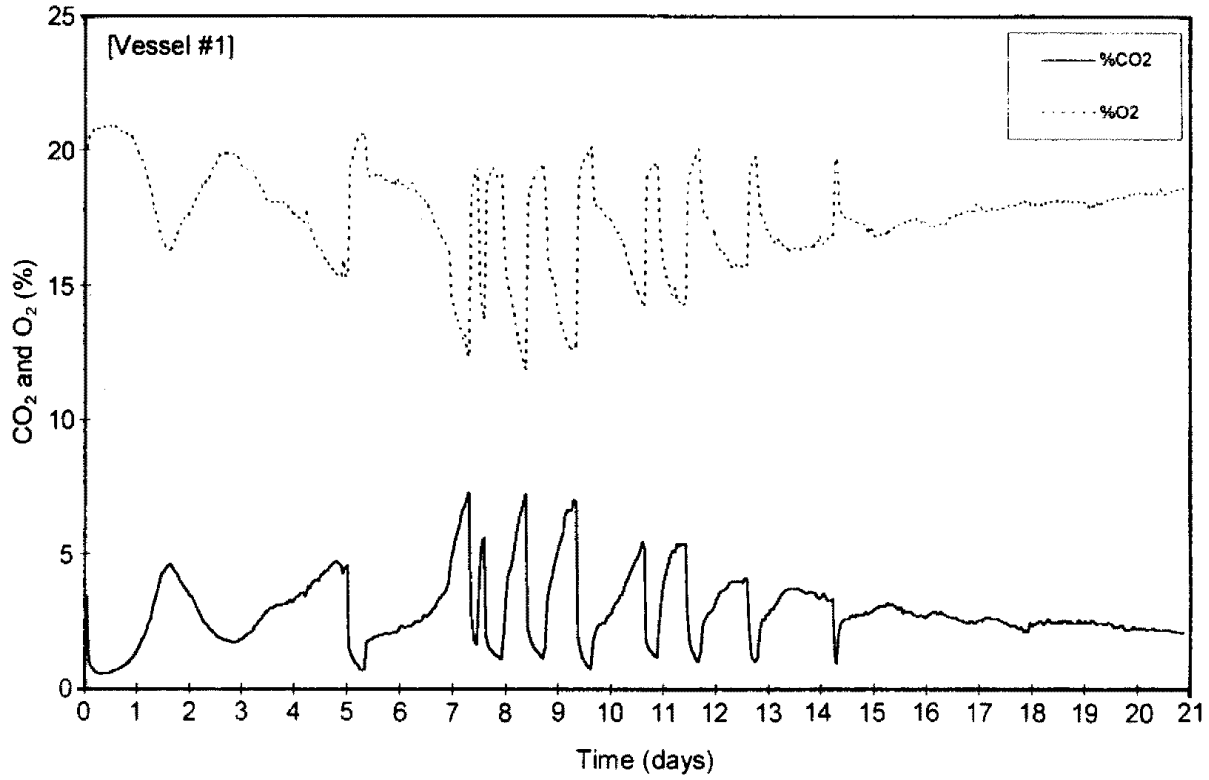

Fig. 3A. Oxygen and carbon dioxide histories obtained during the continuous aerated composting high rate process-Test (I).

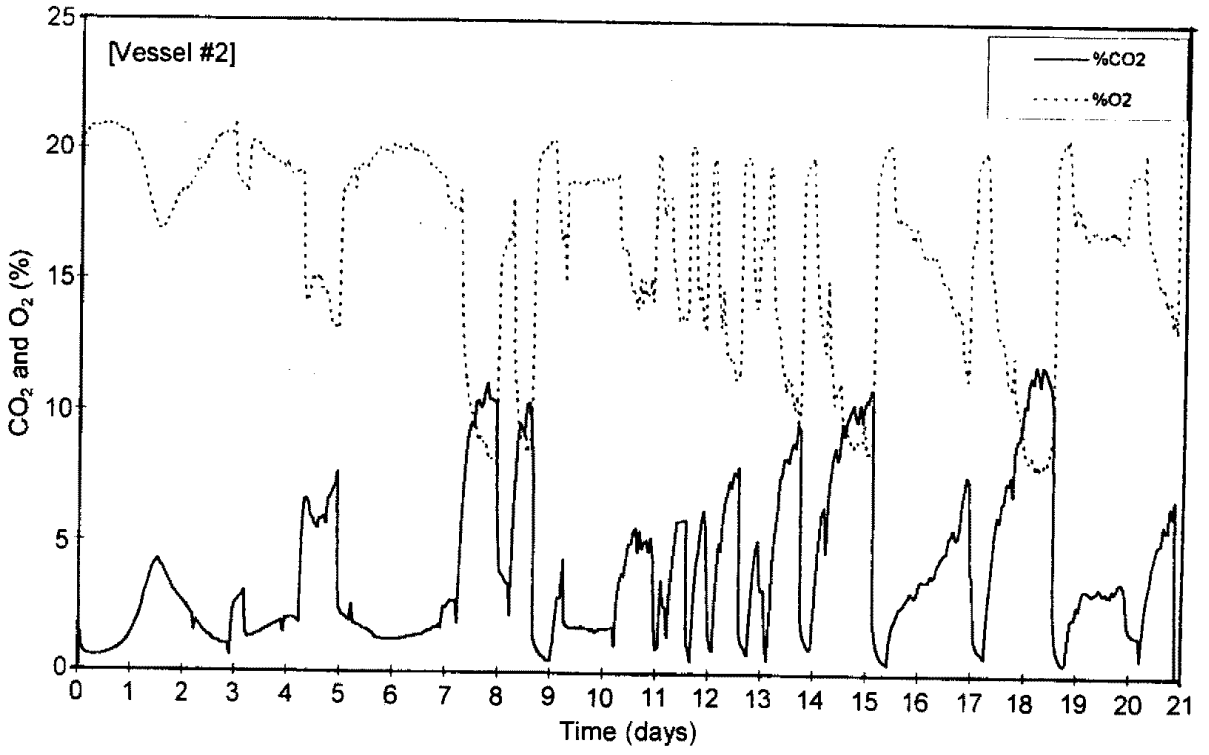

Fig. 3B. Oxygen and carbon dioxide histories obtained during the continuous aerated composting high rate process-Test (I).

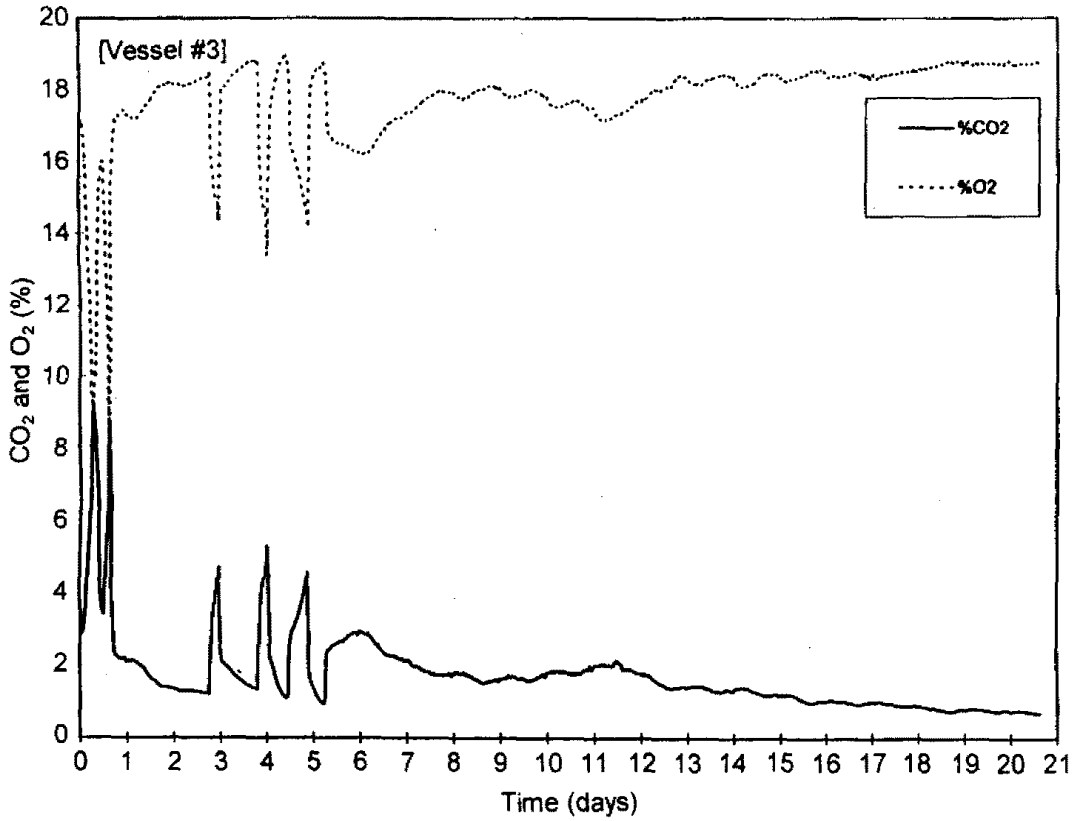

Fig. 3C. Oxygen and carbon dioxide histories obtained during the continuous aerated composting high rate process-Test (Ⅱ).

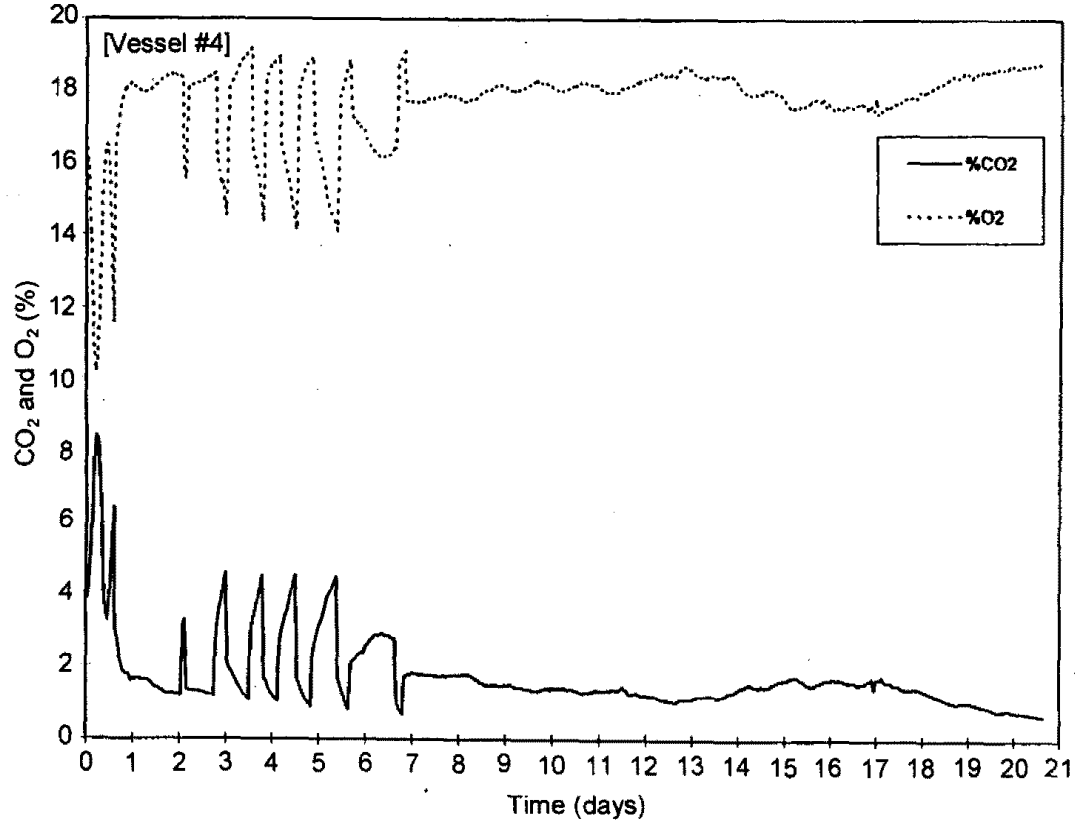

Fig. 3D. Oxygen and carbon dioxide histories obtained during the continuous aerated composting high rate process-Test (Ⅱ).

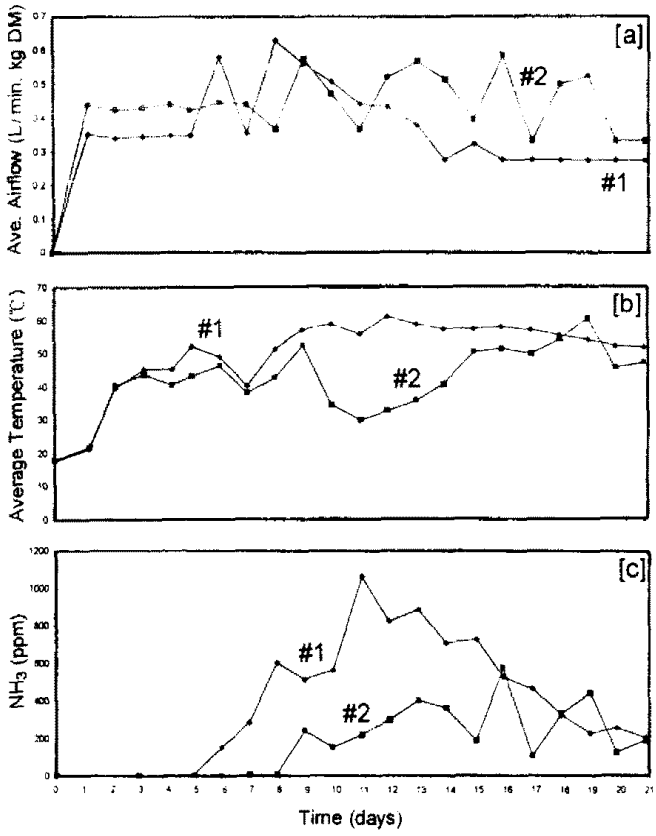

Fig. 4A. Graphical records of average airflow rates, average compost temperatures and ammonia concentrations during the continuous aerated composting decomposition-Test (I).

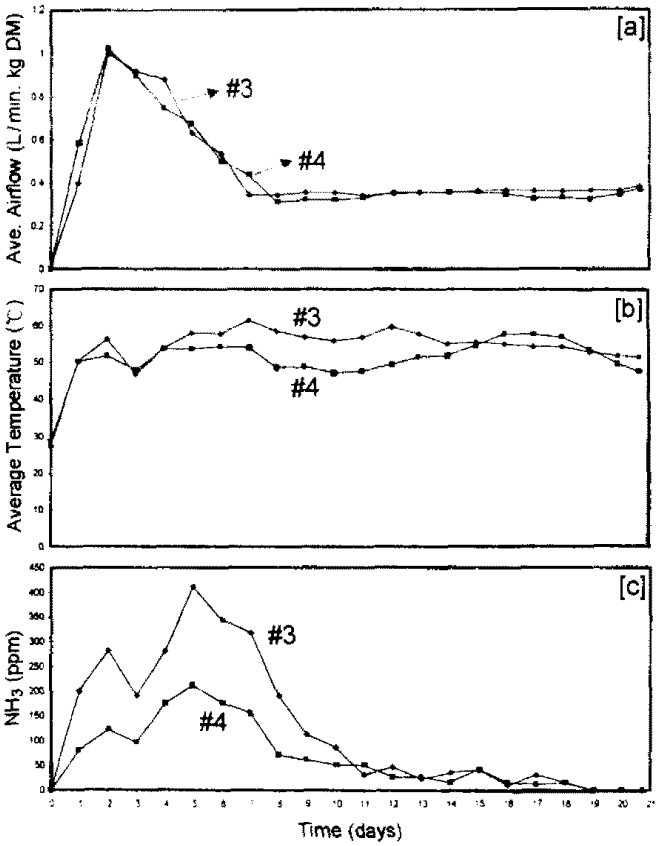

Fig. 4B. Graphical records of average airflow rates, average compost temperatures and ammonia concentrations during the continuous aerated composting decomposition-Test (II).

3주째에도 192~205ppm(47~52℃ 범위)이며 재료 (II)는 분해과정 13일째에 22~26 ppm(51~58℃)로서 취기로 인한 암모니아의 안전가스 농도 25 ppm[1] 범위를 유지하기 시작하였다.

결론 및 요약

본 연구는 가축분뇨, 식품가공장 부산물 및 음식쓰레기 등의 순수 유기성 폐기물을 원료로 하여 대량으로 퇴비화 처리하는 영업용 퇴비화 사업장에서 가장 많이 사용하는 회분식 통기 퇴적형 퇴비화시설의 퇴비화 분해 과정에서 연속 통기방식이 재료의 이화학적 성분 조성에 따라 퇴비온도, 탄산가스 배출농도, 암모니아 가스 농도 등의 퇴비화 성능에 미치는 영향요인을 파이로트 규모의 퇴비화 반응조 4개소에서 비교 분석하였다.

내경 57cm, 퇴적높이 73cm, 유효용적 208ℓ의 반응조에서 돈분과 톱밥의 혼합재료의 적정수분하에서 탄질비와 수소이온농도를 적정수준 범위 이내와 이하로 구분하여 재료의 혼합교반없이 3주 동안 퇴비재료의 설정온도 60℃를 유지하는 연속통기 퇴적식 퇴비화 분해과정의 퇴비화 성능을 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 적정수준내의 재료 (II)가 적정수준 범위를 벗어난 재료 (I)보다 분해기간을 단축하고 암모니아 가스 발생 억제 효과가 크므로 적정수준내의 재료가 퇴비화 성능 향상에 기대가 클 것으로 판단되었다.

2. 연속 통기 퇴적식 퇴비화 처리의 분해과정에서 초기 재료가 적정수준 이내이거나 이와

근접한 조건이면 Fig. 4B에서 나타난 바와 같이 분해 소요기간이 7일이고 암모니아가스 농도는 5일째 최고 213~412 ppm으로서 점차 감소되어 13일째에 22~26 ppm으로 최대 허용농도 이하(50 ppm) 수준으로 안전가스농도 부근(25 ppm)에 도달되었으나 재료 초기조건이 적정수준을 벗어나면(Fig. 4A) 11일과 16일째에 각각 최고 1,063 ppm, 574 ppm으로 나타났으며 3주일째에도 허용농도 이상인 192~205 ppm 수준으로 탈취설비가 필요하였다.

3. 연속 통기 퇴적식 퇴비화 처리공법은 초기 재료의 수분(55~65%), 탄질비(20~40), 수소이온농도(7~8) 및 퇴비온도(60℃ 이하) 등이 적정조건을 유지해야 분해과정 중의 퇴비화 성능을 향상할 수 있다고 판단되었다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 한·미간 중견 과학기술자 교류사업의 일환으로 수행된 과제이며 저자는 오하이오대학교 농업연구개발센터, 퇴비화기술연구소 키너박사 그리고 식품·농업 및 생물공학과의 지원과 대학원생들의 친절한 협조에 대해 진심으로 감사 드립니다.

참 고 문 헌

1. ASAE Standards(44th Ed.). 1997. S.319.3 Methods of determining and expressing fineness of feed materials by sieving and EP 470 Manure storage safety. St. Joseph, MI.
2. Composting Council. 1994. Composting Facility Operating Guide. The Composting Council, Alexandria, Virginia.
3. Elwell, D. L., Keener, H. M., Hointink, H. A. J., Hansen, R. C. and Hoff, J. 1994. Pilot and full scale evaluations of leaves as an amendment in sewage sludge composting. Compost Science and Utilization 2(2):55-74.
4. Hansen, R. K., Mancl, H. M., Keener and Hoitink, H. A. J. 1995. The Composting Process –A natural way to recycle wastes– The Ohio State University, Ohio state Extension.
5. Haug, R. T. 1993. The Practical Handbook of Compost Engineering, Lewis Publishers, CRC Press Inc., Boca Raton.
6. Hong, J. H. 1994. Controlling factors in open composting process. Proc. of the 12th world congress on agricultural engineering, Vol. 2:1533-59.
7. Keeney, D. R. and Nelson, D. W. 1982. Nitrogen-inorganic forms. pg. 643-98. In : A. L. Page et al.(Eds.), Methods of soil analysis, Part 2, American Society of Agronomy, Madison.
8. Marugg, C. 1992. Handbook of analysis procedures for compost laboratory data. Dept. of FABE., OARDC/OSU, Wooster, OH.
9. Matsuda, J. 1987. Forced air for compost making. Farming Mechanization, 2839:13-15.
10. Midwest Plan Service. 1985. Livestock Waste Facilities Handbook, MWPS-18, Iowa State University, Ames, Iowa.