

등, 1996)고 알려져 있는바, 본 연구에서는 수분조절재의 종류와 송풍여부에 따른 퇴비화 특성과 악취의 발생정도를 조사 분석하였다.

재료 및 방법

계분을 원재료로 한 퇴비단 내에 체중 1.7~2.0 kg 내외의 폐사계를 시험재료로 포함시키고 각 처리구 중의 발효특성을 조사하였다. 수분조절재로는 톱밥과 왕겨, 목편을 사용하였다. 발효조는 1.2 cm 두께의 합판을 사용하여 120 cm × 120 cm × 120 cm 크기의 바닥송풍시설이 설치된 사각형 발효조를 제작하여 각각의 발효조에 충전된 가축분 퇴비단의 사이에 폐사계를 투입하였다. 폐사계 투입층을 덮은 퇴비단의 두께는 30 cm 내외로 하였다. 발효조 내부에 공기를 공급하기 위해서 송풍기를 장착하였으며 공기 공급량은 200 l/m³/min 수준으로 조절하여 연속 송풍을 실시하였다. 송풍시설은 발효조의 바닥에 30 cm 간격으로 직경 3 cm의 파이프형 산기관을 배열하였으며, 산기관 주위는 평균 2 cm 크기의 사각형 목편을 충전하여 산기공의 폐색을 방지하였다. 목편 상층부에 격자 크기 1 mm와 10 mm 규격의 철망을 겹쳐서 고정하여 퇴비입자와 산기공의 직접 접촉이 이루어지지 않게 하였다. 산기관은 송풍기에 연결된 직경 5 cm의 파이프에 각각 연결하여 공기가 발효조 전체에 고르게 공급되도록 하였다.

토양 중 매립상태에서의 폐사계의 분해상태를 조사하기 위하여 80cm 깊이로 매립한 후 폐사계 부분에 온도계의 센서부분과 기밀상태가 유지되는 가스채취관 말단을 장착하여 발효상태를 조사하였다. 퇴비화기간 동안의 온도측정은 100℃까지 측정이 가능한 막대형 지중온도계를 사용하였다.

퇴비화 기간 동안의 시료에 대한 화학분석은 표준분석법(AOAC, 1990) 및 수질공정시험법(APHA, 1995)에 준하여 시행하였다. 원료 중의 총 세균수 측정은 PBS로 시료를 10배 희석하

고 실온에서 10분간 정치시킨 후 상층액을 취하여 PBS로 10²부터 10⁶까지의 희석액 1ml씩을 채취하여 플레이트에 접종한 후 37℃에서 24시간 배양하여 형성된 집락 수를 계수하였다. 대장균 분석은 총 세균 수 측정의 전 처리법에 따른 시료를 MacConkey agar에 도말하여 37℃에서 24시간 배양 후 대장균의 수를 계산하였다. *Salmonella*는 실온에서 24시간 배양 후 PBS를 실험시료양의 2배가 되도록 분주한 후 진탕하여 실온에서 10분간 정치하고 형성된 상층액을 10⁻²부터 10⁻⁸까지 단계별로 희석한 후 이 희석액 중에서 선별한 희석액을 SS agar에 도말, 접종하여 37℃, 48시간 배양 후 형성된 집락의 수를 계수하여 총 세균의 수를 계산하였다. 퇴비화는 Fig. 1과 같이 상자형 발효조와 일반 퇴적식 발효단 형태로 실시하였다.

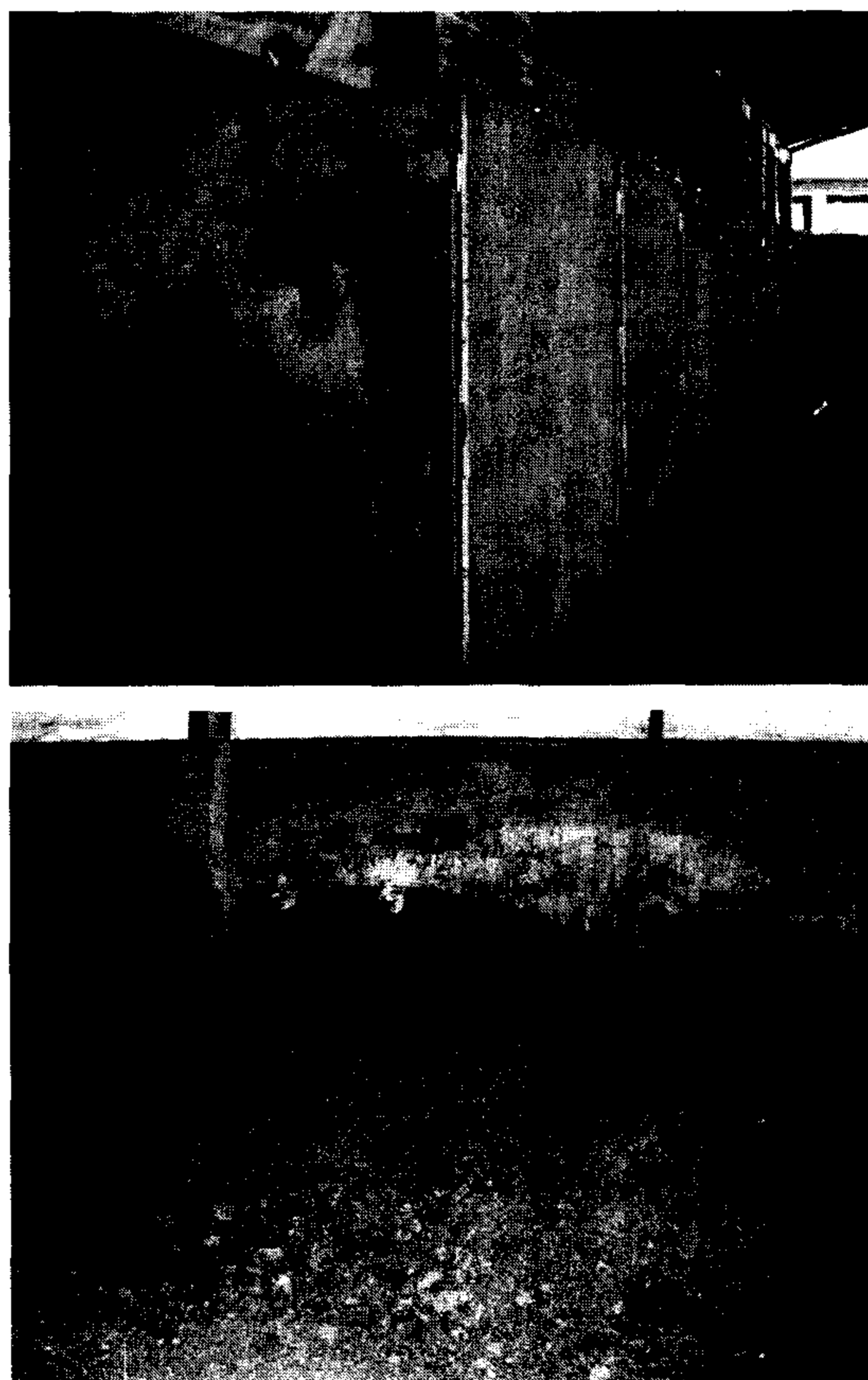


Fig. 1. Facility for Composting of dead poultry.

결과 및 고찰

1. 발효 장소별 온도변이

폐사계의 체내 발효온도는 발효장소에 따라 달라지는 바, 현재 행해지는 토양매립 방법에 따른 지중 발효온도와 퇴적식 퇴비 내 발효온도를 비교하였다. 본 연구에서는 퇴비 온도의 상승에 비례하여 폐사계 체내의 온도도 상승하여 퇴적식 퇴비단의 경우 55℃ 내외의 고온지속기간이 약 30일정도 유지되었다. Hansen 등 (1995)은 55~60℃의 온도가 3일 이상 유지되면 퇴비중의 미생물이 사멸한다고 하였다. 반면에 토양 중에 매립된 폐사계의 체내 온도는 발효 전 기간 동안 30℃ 이상으로 상승하지 못한 채 주변토양 온도와 거의 비슷한 수준을 유지하였다. 토양온도는 외기온의 변화에 즉각적인 반응을 보이지 않았다. 발효장소별 폐사계의 체내 발효온도는 Fig. 2에 나타난 바와 같다.

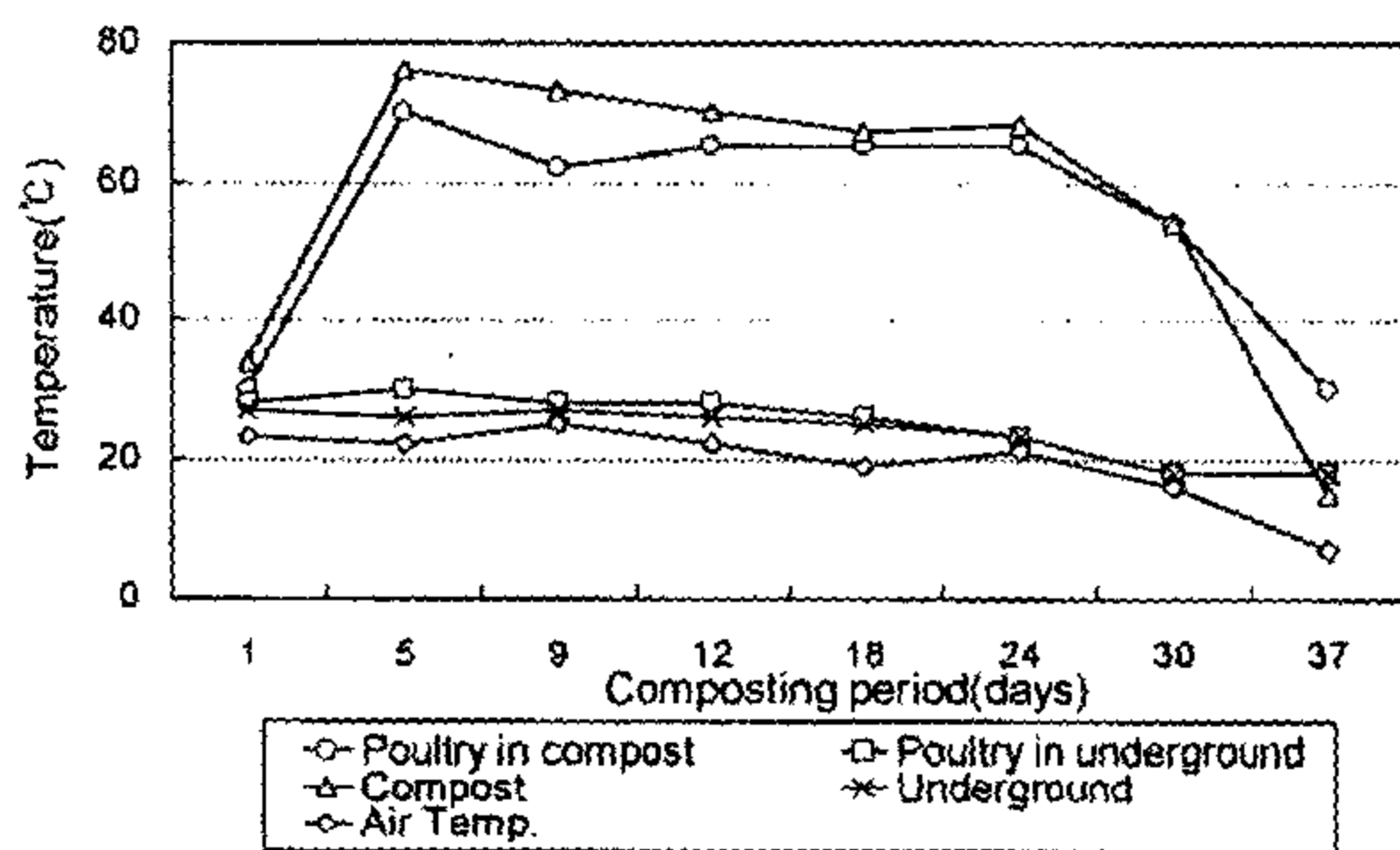


Fig. 2. Changes of temperature during composting period(°C).

2. 부재료별, 송풍방법별 발효온도

상자형 시험용 발효조 내에서의 퇴비화 과정에서 수분조절재의 종류와 송풍여부에 따른 발효온도 변화를 측정된 결과는 Fig. 3에 나타난 바와 같다.

시험용 발효조 내에서의 송풍여부에 따른 퇴비의 발효온도 변화추이는 송풍처리구에서는 퇴비화 3일째에 최고온도 68℃를 기록한 반면

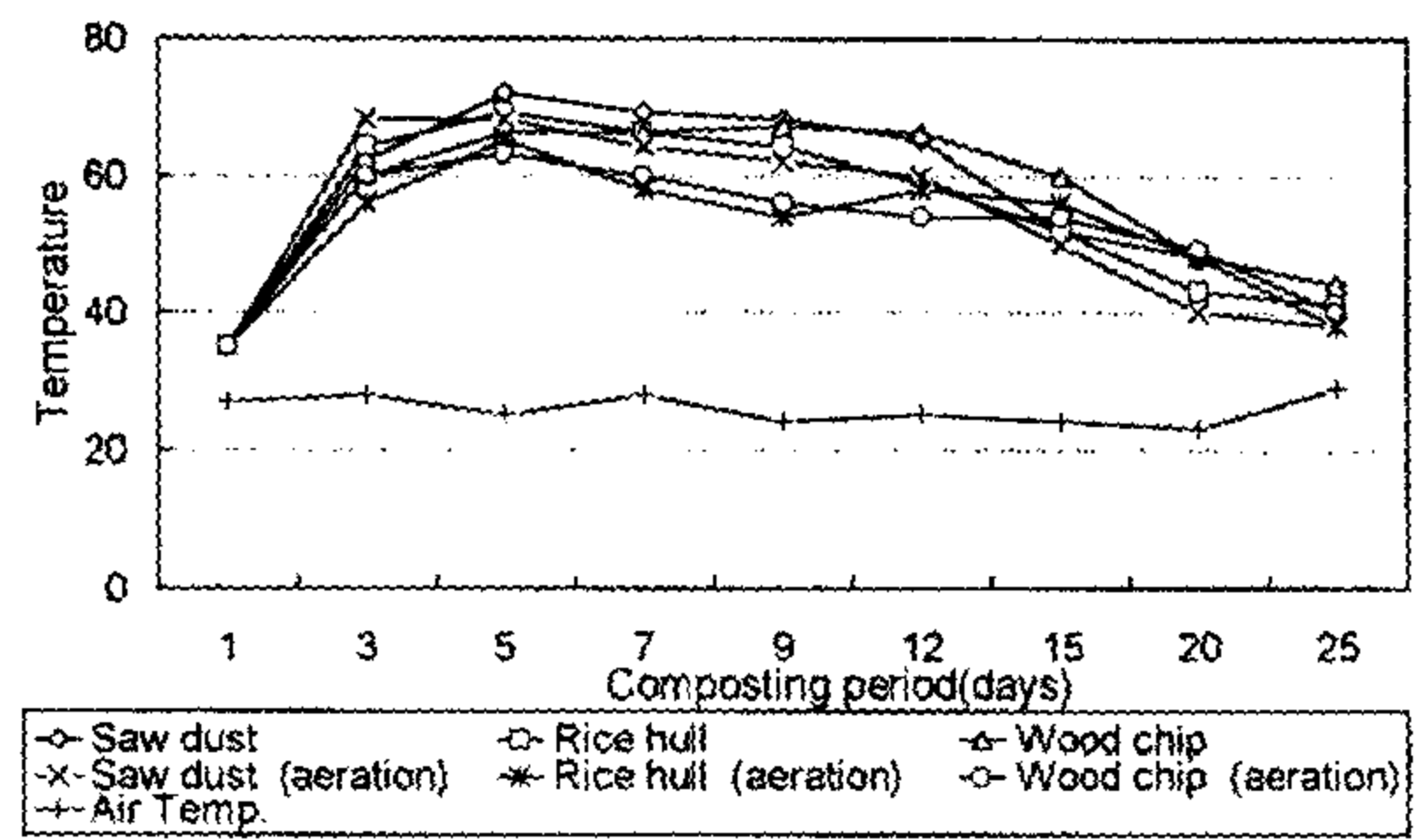


Fig. 3. Temperature of compost piles during composting period.

에 무송풍구에서는 퇴비화 5일째에 최고온도 72℃를 기록하였다. 수분조절재 별 퇴비단의 발효온도는 송풍구와 무송풍구 공히 톱밥혼합구에서 가장 높은 온도를 기록하였고 고온 지속기간은 무송풍구에서 더 길게 나타나는 경향을 보였다.

3. 송풍유무에 따른 악취발생

퇴비화 과정에서는 퇴비단 내의 공기 함유정도에 따라 유기성 물질의 발효과정에서 발생하는 가스의 종류와 함량이 달라지게 된다. Elwell (2001)과 정(2001) 등은 퇴비화시 악취 주요성분으로 암모니아, 유황 화합물 등을 제시하였는데, 본 시험과정에서도 퇴비단 표층부에서 채취한 대기시료 중에 이러한 악취가스가 포함되었으며 송풍 실시 여부가 악취가스의 발생 정도에 영향을 미쳤다. 본 시험에서, 퇴비표면으로부터 대기 중으로 휘산되는 가스포집 시료 중에서 검출된 대표적인 악취가스인 H₂S와 CH₃SH의 경우, 송풍 처리구에 있어서는 퇴비화 개시 후 20일 경과 후 각각 28.5, 16.0 ppb 수준을 나타냈고 35일 경과 시에는 각각 57.7, 11.7 ppb를 기록하였다. 반면에 무송풍 처리구의 경우에는 각각 H₂S의 경우 32.0, 23.7 ppb, CH₃SH의 경우에는 23.7, 9.9 ppb 수준의 발생량을 기록하는 등 전반적으로 송풍처리구가 무송풍 처리구에 비해 악취가스의 발생량이 상대적으로 낮다는 것을 알 수 있다. 송풍유무에

따른 악취관련 가스 농도변화는 Table 1에 나타난 바와 같다.

Table 1. Malodorous gas generation of aerobic composting and anoxic composting

(Unit : ppb)

Composting process	Malodorous gas	Composting period(days)		
		1	20	35
Composting with aeration	H ₂ S	4.402	28.537	57.668
	CH ₃ CHO	N.D	N.D	N.D
	CH ₃ SH	8.300	15.933	11.667
	DMS	N.D	6.203	N.D
	DMDS	N.D	4.790	N.D
	C ₈ H ₈	N.D	N.D	N.D
Composting without aeration	H ₂ S	4.402	31.924	86.806
	CH ₃ CHO	N.D	N.D	N.D
	CH ₃ SH	8.300	23.719	9.873
	DMS	N.D	15.424	N.D
	DMDS	N.D	14.210	N.D
	C ₈ H ₈	N.D	N.D	N.D

4. 닭 발효 위치별 악취발생

주변온도 55℃ 내외에 위치한 혐기상태의 용기 내에서 폐사계의 분해가 진행될 때 휘산되

는 악취가스 발생과 토양 중에 매립된 상태의 폐사계가 분해되는 과정에서 발생하는 악취가스의 농도를 측정된 결과는 Table 2에 나타난 바와 같다.

폐사계를 밀폐용기 내에서 발효시킬 때 수거된 침출수 중의 미생물 수가 토양매립상태 하에서 수거된 침출수 중의 미생물 수 보다 더 적은 경향을 보이고 있다. 퇴비의 경우 일반퇴비에 비해 폐사계를 발효시킨 퇴비중의 대장균 수가 적었고 총 세균수는 더 많은 경향을 보였다. 살모넬라는 두 처리구 퇴비 모두에서 검출되지 않았다. 주변온도 55℃의 혐기상태의 용기 내에서 분해되는 폐사계와 지중에서 분해되는 폐사계에서 발생하는 침출수중의 미생물 수를 조사한 결과는 Table 3과 같다. 침출수의 CODcr 농도는 102,000 mg/L를 기록하였다. 폐사계를 함유한 퇴비단과 일반 퇴비단 중의 미생물 수도 동 표에 제시된 바와 같다.

퇴비단 내에서 발효에 따른 폐사계 중량은 최초 3일간에 급격히 감소하고 시간의 경과에 따라 그 감소속도는 줄어든다. 발효온도가 높을수록 조직의 분해속도가 빨라지고 폐사계의 중량감소 속도도 빨라졌다. 퇴비화 기간에 따른 폐사계의 중량변화는 Fig. 4에 나타난 바와 같다.

Table 2. Malodorous gas generation during decomposition of dead poultry in anaerobic chamber and burial state

(Unit:ppm)

Decomposition process	Malodorous gas	Composting period(days)		
		1	20	35
Anaerobic decomposition at the temperature of 55 °C	NH ₃	1	10	0.5
	H ₂ S	0.3	0.1	1.4
	CH ₃ SH	0.08	0.04	2.1
Decomposition in underground	NH ₃	1	4	0.5
	H ₂ S	ND	ND	ND
	CH ₃ SH	ND	ND	ND

Table 3. Microbes detected in the leachate of poultry and in the compost

Classification		E. coli	Total bacteria	Salmonella
Leachate	Poultry fermented in anaerobic chamber	1.4×10^4	4.3×10^7	4.9×10^2
	Poultry fermented in underrground	2.4×10^5	9.9×10^7	1.0×10^4
Compost	Control	6.6×10^5	2.9×10^7	N.D
	Compost fermented with poultry	4.3×10^5	3.4×10^7	N.D

Table 4. Chemical characteristics of composts

(DM base)

Classification	Nutrients(%)			Heavy metals (ppm)				
	N	P	K	Cu	Cr	Pb	Cd	Hg
Control	1.70	1.66	1.84	19.3	3.21	9.67	0.46	0.0083
Compost fermented with poultry	1.78	1.80	1.30	23.65	3.98	11.68	0.55	0.0125

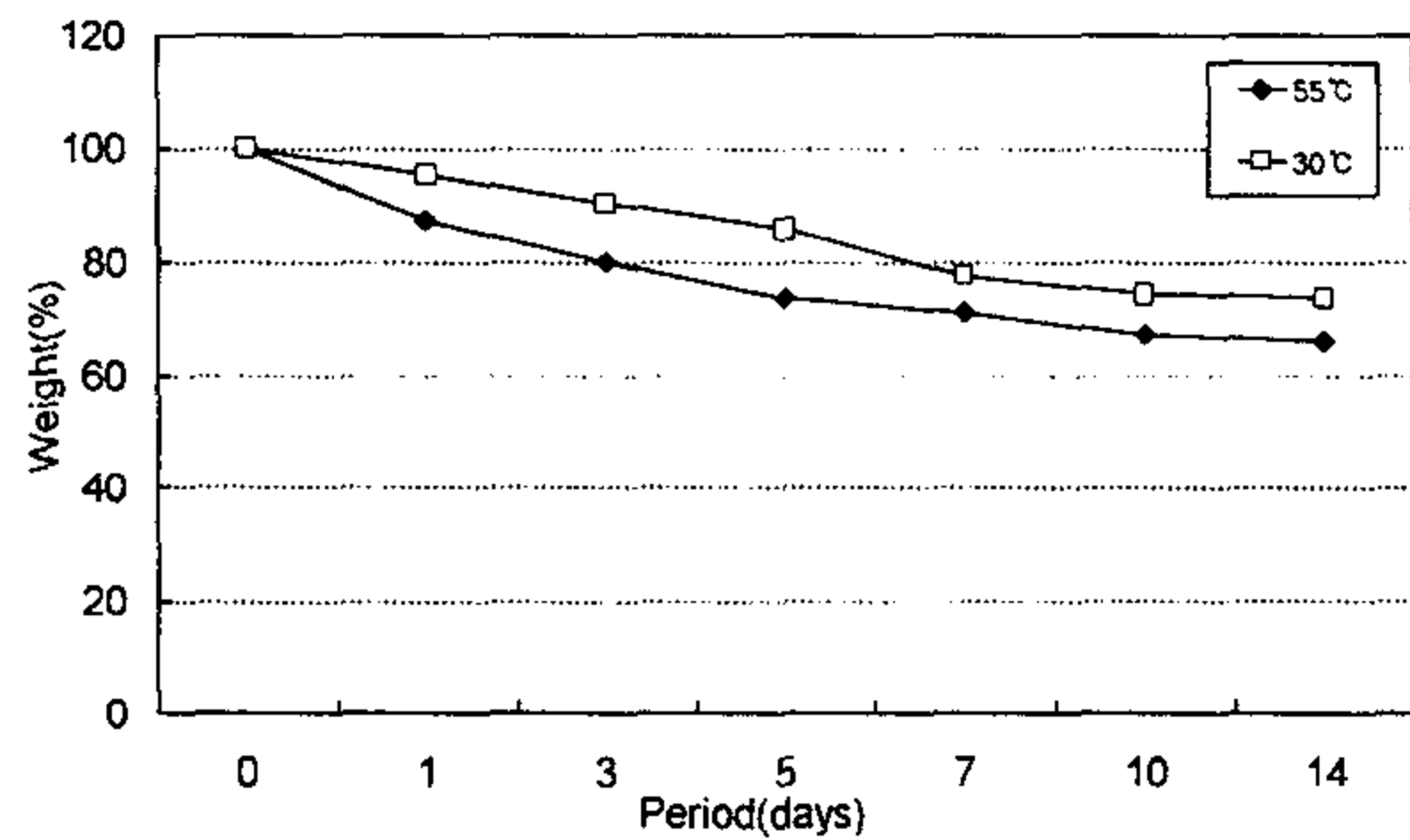


Fig. 4. Changes of weight of the poultry in the compost pile during composting period.

일반 퇴비에 비해 폐사계를 발효시킨 퇴비중의 성분은 인 성분에서 미소한 증가를 보였다. 일반퇴비와 폐사계를 발효시킨 퇴비의 성분 함량은 Table 4에 제시된 바와 같다.

기존의 연구결과에서 퇴비화 과정에서 중금속 함량의 변화가 없는 것으로 보고 되었고(박 등, 2002), 본 연구에서도 폐사계를 함유한 퇴비단과 일반 퇴비단 사이의 중금속 함량의 유의적인 차이는 발견되지 않았다.

결 론

발효온도 변화와 퇴비화관련 가스 발생 정도를 근거하여 볼 때, 퇴비화에 의한 일반 폐사계의 분해정도가 지중 매립방법에 의한 분해보

다도 더 양호하였다. 송풍처리구의 경우 암모니아와 황화합물 관련 악취발생 정도가 무송풍구보다 낮았다. 일반 퇴비단에 비하여 폐사계를 포함하는 퇴비단에서 대장균 수가 적게 검출되었으며, 퇴비성분과 중금속 함유정도에서도 차이가 없었다. 기존의 연구자들에 의해 제시된 유해미생물의 사멸조건인 3일간 55°C 이상의 온도지속 조건은 일반적인 퇴비화 상태에서 용이하게 달성되었다. 이상의 결과를 근거로 판단하여 볼 때 송풍시설이 설치된 퇴비단에서 동물성 유기물의 퇴비화에 의한 분해가 가능할 것으로 사료된다.

적 요

1. 퇴비 온도의 상승에 비례하여 폐사계 체내의 온도도 상승하여 퇴적식 퇴비단의 경우 55°C 내외의 고온지속기간이 약 30일정도 유지되었다. 반면에 토양 중에 매립된 폐사계의 체내 온도는 발효 전 기간 동안 30°C 이상으로 상승하지 못한 채 주변토양 온도와 거의 비슷한 수준을 유지하였다. 토양온도는 외기온의 변화에 즉각적인 반응을 보이지 않았다.

2. 시험용 발효조 내에서의 송풍여부에 따른 퇴비의 발효온도 변화추이는 송풍 처리구에서는 퇴비화 3일째에 최고온도 68°C를 기록한 반

면에 무송풍구에서는 퇴비화 5일째에 최고온도 72℃를 기록하였다.

3. 퇴비단 표층에서 채취된 시료에서 검출된 H₂S와 CH₃SH 농도는 송풍 처리구에 있어서는 퇴비화 개시 후 20일 경과 후 각각 28.5, 16.0 ppb 수준을 나타냈고 35일 경과 시에는 각각 57.7, 11.7 ppb를 기록하였다. 반면에 무송풍 처리구의 경우에는 각각 H₂S의 경우 32.0, 23.7 ppb, CH₃SH의 경우에는 23.7, 9.9 ppb 수준의 발생량을 기록하는 등 전반적으로 송풍처리구가 무송풍 처리구에 비해 악취가스의 발생량이 상대적으로 낮았다.

4. 폐사계를 밀폐용기 내에서 발효 시 수거된 침출수 중의 미생물 수가 토양매립 상태에서 수거된 침출수 중의 미생물 수보다 더 적은 경향을 보이고 있다.

5. 퇴비단 내에서 발효에 따른 폐사계 중량은 최초 3일간에 급격히 감소하고 시간의 경과에 따라 그 감소속도는 줄어든다. 발효온도가 높을수록 조직의 분해속도가 빨라지고 폐사계의 중량감소 속도도 빨라졌다.

6. 일반 퇴비와 폐사계를 발효시킨 퇴비 사이에 비료성분과 중금속 함량의 유의적인 차이는 발견되지 않았다.

인 용 문 헌

1. AOAC. 1990. Official Methods of Analysis (15th Ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washinton, D.C.
2. APHA. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater(19 th Ed.).
3. Elwell, D. L. 2001. Odorous emissions and odor control in composting swine manure/

- sawdust mixes using continuous and intermittent aeration. Transactions of the ASAE. 44 (5):1307-1316.
4. Fonstad, T. A., Meier, D. E., Ingram, L. J. and Leonard, J. 2003. Evaluation and demonstration of composting as an option for dead animal management in Saskatchewan. Canadian Biosystems Engineering. 45:6.19-6.25.
5. Hansen, R. C., Manel, K. M., Keener, H. M. and Hoitink, H. A. J. 1995. The composting process - A natural way to recycle waste - OSUE., Bulletin 792, The Ohio State University. Columbus, OH.
6. Keener, H. M., Elwell, D. L. and Monnin, M. J. 2000. Procedures and equations for sizing of structures and windrows for composting animal mortalities. Applied Engineering in agriculture 16(6):681-692.
7. 박준석, 안병구, 하은아. 2002. 퇴비화 과정 중 전처리 방법에 따른 중금속 함량의 변화. 한국유기성폐자원학회지 10(2):117-124.
8. 손보균, 홍지형, 박금주. 1996. 우분뇨와 왕겨혼합물의 퇴비화에서 정치식과 통기퇴적식의 비교연구. 한국토양비료학회지 29(4): 403-410.
9. 이규호. 1997, 가압열처리한 도계부산물의 화학적 조성과 닭에 대한 생물학적 사료가치. 한국가금학회지 24(4):185-191.
10. 정광화, 강호. 2001. 축분 퇴비화과정중 특성변화와 축분퇴비 이용효과. 한국유기성폐자원학회지 9(1):56-64.
11. 홍지형, 최병민. 1999. 부자재가 돼지사체 퇴비화에 미치는 영향. 한국축산시설환경학회지 5(1):45-52.