

계분의 콤포스터 처리시 내부온도 조절이 생산물의 물리·화학적 성상에 미치는 영향¹⁾

곽완섭, 김태규, 김창원

건국대학교 동물자원연구센터
서울특별시 성동구 모진동 93-1(우 133-701)

Effect of Pile Temperature Control on Changes of Physicochemical Parameters of Composted Poultry Waste

Wansup Kwak, Taegyu Kim, Changwon Kim

Animal Resources Research Center, Kon-Kuk University, Seoul, 133-701

ABSTRACT

When broiler litter was composted under the control of peak temperature of piles(uncontrolled, controled below 70°C and below 60°C), changes of physical and chemical parameters were determined throughout the processing period. Broiler litter was composted in each of three 1.0×1.0×1.2m dimensional facilities for 8 weeks. After 5 to 6 weeks of composting, broiler litter was converted into the final compost with no ammonia odour, rice hull size of particle, and faint brown color. Central temperature of piles reached to the peak(about 69~70°C) within 3 to 4 days after composting and gradually decreased thereafter. The final product contained 26.5% of moisture, 9.0~9.1 of pH, and 14.0~14.3 of C/N ratio. The increase of C/N ratio with processing resulted from the considerable loss of N. The total wet weight of the final composts was an average of 38.3% of the initial weight, the dry weight of those 64.1%, and the organic matter weight of those 34.8%. Treatments of central temperature of composts did not affect changes of moisture, pH, C/N ratio, total wet weight, total dry weight, and total organic matter weight. In general, composted broiler litter was converted into the final product with little change in physical and

¹⁾본 연구는 과학재단과 주식회사 한얼의 연구비 지원으로 수행되었음.

chemical parameters after 5 to 6 weeks of processing. Nitrogen losses during the composting should be prevented for the improvement of the composting efficiency of broiler litter.

초 록

육계분을 pile의 내부온도 peak를 조절하여(조절 무, 70°C 이하, 60°C 이하) composting 처리 시 공정기간에 걸친 물리.화학적인 성상 변화를 고찰하였다. Composting에 이용된 구조물의 크기는 1.0×1.0×1.2m였다. 육계분은 공정 개시후 5~6주 경과시 암모니아취가 없고, 왕겨 크기의 입자로 분해된, 연한 갈색의 최종 생산물로 전환되었다. Compost의 내부온도는 공정 개시후 3~4일경에 peak에 도달하였고, 이 후 서서히 감소하였다. 8주 경과시의 Compost의 최종 함수율은 26.5% 였으며, pH는 9.0~9.1, C/N ratio는 14.0~14.3의 범위를 보였다. C/N ratio의 증가는 N의 손실이 주 요인이었다. 최초 중량과 비교할 때, 공정 후 8주 경과시의 총 중량은 평균 38.8%, 건물 중량은 평균 64.1%, 유기물 중량은 평균 34.8% 정도였다. 계분 compost의 함수율, pH, C/N ratio, 총 중량, 건물 중량, 유기물 중량은 내부온도 조절에 의하여 영향을 받지 않았다. 육계분 compost는 공정 개시 후 5~6주 경과시에 물리.화학적 변화가 매우 적은 물질로 전환되었으며, 공정상의 N 손실을 사전 방지하여 composting 효율을 향상시키는 방안이 고려되어야 할 것으로 사료되었다.

핵심용어: 계분, compost, C/N ratio, N 손실.

1. 서 론

오늘날 도시 근교에 밀집된 축산 농가에서 대량으로 배출되는 축산폐기물은 환경오염의 큰 요인으로 부각되어 이의 처리 문제에 축산업의 사활이 걸려있음은 주지의 사실이다. 축산폐기물은 산업폐기물과 달리 고형물 함량이 높고, 특히 유기물의 함량이 높아 완전 정화 처리함이 사실상 거의 불가능한 실정에 있다. 그리고 축산폐기물은 증중속의 오염이 거의 없어 경제적이고 위생적으로 가공 처리될 경우 식물 또는 동물의 영양자원으로 유효하게 이용될 수 있다. 특히 최근에 와서 유기농법에 대한 인식이 부활되어 축산폐기물의 유기질 비료로의 처리 이용이 널리 보급되고 있으나, 불안정한 제품의 무

분별한 유통 및 이용이 큰 문제점으로 지적되고 있으며 또한 광범위한 보급에 제한적 요인으로 작용하고 있다. 그리고 축산폐기물은 여러가지 가공처리방법(ensiling, deepstacking, composting 등)을 통하여 가축사료로 전환 이용될 때 사료자원이 부족하여 상대적으로 비싼 수입 사료를 이용하는 우리 축산업계에 크나 큰 도움이 될 것은 당연한 사실이다.

축산폐기물 중 육계분은 함수율이 상대적으로 낮아 취급이 매우 용이하며 영양성 또한 뛰어나 영양자원화 하기에 가장 좋으며, 이때 이용되는 composting 공법은 최종 생산물의 안정도를 높이고 동시에 함수율을 현저히 감소시키는 등의 장점을 가진다.

따라서 본 연구에서는 가공처리된 폐기물의 최종 함수율을 바람직한 수준으로 낮출 수 있는

효율적 공법의 하나인 composting 공법을 이용하여 육계분을 가공처리할 시 공정경과에 따른 물리적, 화학적 변화를 규명하며, 퇴적물의 내부온도를 달리하였을 때의 composting rate에 미치는 영향을 파악하고, 비료 또는 사료로의 안정화된 최종제품 생산까지의 소요기간 및 안정화와의 제한적 요인을 규명, 해결하고자 함에 그 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

2.1 가공처리 시설물 제작

Composting 처리를 위한 시설물은 Photo. 1에서 보여지는 바와 같이 가로, 세로, 높이 각각 1m, 1m, 1.2m로 하여 베니어 판막이로 3기를 제작하였다. 베니아 판막이는 통기가 용이하도록 하였다.

2.2 육계분 처리 및 기간

육계 농장(충청북도 증원군 소재의 원일농장)에서 당일 배출된 신선한 육계분을 실험장소로 수송하여 저장하고, 1일 후 처리별로 A) pile 내부온도를 조절하지 않음, B) 70°C 이하로 유지, C) 60°C 이하로 유지 등으로 나누어 각각 총 중량을 450kg으로 동일하게 맞추어 위 시설물내에서 94년 3월 23일에서 5월 21일까지 8주간 composting 처리를 실시하였다. 교반은 매일 매시 내부온도를 측정하면서 내부온도 peak가 처리별로 유지되도록 수동식 뒤집기 방법(공정 초기엔 최소 1일 1회 뒤집기)을 이용하여 교반시켜 주었다.

2.3 Thermocouples 설치

각각의 compost 더미의 중앙부(공정 초기엔



Photograph 1. Composting facility used for experiment.

위 표면에서 60cm 깊이)에 속이 빈 PVC관을 연결하고 그 내부에 thermocouple을 장착하여 digital 방식으로 매일 일정 시간에 내부온도를 측정, 기록하였다(Photo. 1 참조).

2. 4 시료 채취 및 분석

각 처리별로 공정이 진행됨에 따라 0일, 3일, 1주, 2주, 3주, 4주, 5주, 6주, 8주가 되는 시점에 분석을 위하여 시료를 채취하여 -20°C에서 냉동 보관하였으며, 처리 공정간에 매주 1회 compost의 총 중량을 측정하였다.

공정 개시 후부터 매일 일정시간마다 내부온도, 환경온도 및 습도를 기록하였고, 매 교반시마다 덩어리 크기, 가스 및 악취 발생 정도, 외관 등을 기록하였다.

화학분석시 시료의 건물은 60°C dry oven에서 48시간 건조하여 구하였으며, total Kjeldahl nitrogen은 AOAC(1990) 방법에 따라 분석하였고, total organic carbon은 % carbon = (100-% ash)/1.8 공식(University of California at Berkeley, 1953)에 따라 구하였다. Ash 함량은 muffle furnace에서 3시간 동안 태워 측정된 다음, 유기물 함량을 구하였다.

3. 결과 및 고찰

3. 1 외관 및 분취

계분의 composting 처리 과정에서 관찰된 외관 및 분취 발생 경과는 Table 1에 요약되어져있다. 공정 초기에는 분취 및 gas 발생 정도가 심하여 작업시 호흡에 지장을 줄 정도였으나, 2주 경과시 분취 및 암모니아 gas 발생 정도가 현저히 줄어들어 호흡에 지장이 없었으며, 이때 분당이 내부는 여전히 분해가 덜된 상태로 분취를 풍겼다. 4주 경과시 암모니아 gas 발생은

교반시에 약간 발생되었으나, 6주 경과시엔 거의 없었다.

분당어리의 평균 크기는 1일 경과시 약 10cm, 3일 경과시 약 7cm, 2주 경과시 약 2 cm, 3주 경과시 깔개로 이용된 왕겨 크기 정도로 감소되다가, 6주 경과시엔 대부분 왕겨 크기 이하로 감소되었다.

Compost의 색깔은 최초에 진한 갈색을 띠다가, 공정과 더불어 수분이 골고루 퍼지면서 흑갈색으로 변하다가, 이 후 수분이 차츰 증발됨에 따라 공정 6주 경과시엔 연한 갈색으로 변하였다.

전반적으로 육계분의 composting 처리시, 공정 후 5주에서 6주 경과시에 곰팡이 냄새가 매우 조금 나고, 외관상으로 충분히 분해된(왕겨 크기의 균일한 입자로), 연한 갈색의 최종 생산물로 전환되었다. 일반적으로, 이상적인 compost는 색깔이 갈색, 흑갈색 또는 흑색을 띠며, 약간의 곰팡이 냄새가 나고, 악취가 전혀 나지 않는 것을 특징으로 한다(Wilson, 1971; Toth, 1973; Diaz 등, 1993).

3. 2 내부온도

공정 전기간을 통하여 일정 시간대에 측정된 각 처리별 내부온도의 변화는 Fig.1에 나타나있다. 공정 0일에 전체 처리구에서 호열성 단계에 진입하였으며, 공정이 진행됨에 따라 처리 C를 제외한 pile들의 내부온도의 peak는 3~4일경이면 도달하였다. A와 B 처리구의 내부온도는 공정 초기 약 10일 동안 60~70°C 범위에 있었다. 교반시마다 내부온도는 급격히 하강하였으나 곧 상승하였으며, 회복되는 속도는 공정 초기에는 빨랐으나 후반으로 진행됨에 따라 늦어졌다. 그리고 전체 처리구에서 공정 개시후 6~7주 경과시에 내부온도는 환경온도(18~28°C)에 가까운 25~30°C로 떨어졌으나 aerating 후 reheating

Table 1. Changes of appearance and odour of composts with processing.

Duration	Observation
1 d	Large amounts of ammonia gas release Color : dark brown Particle size : avg. 10cm Observation of surface-dry fecal masses Water permeation through fecal masses
3 d	Color : black brown Particle size : avg. 7cm Reduction of the number of fecal masses
2 wk	Rice hull-size particle Reduction of ammonia release Reduction of gas release(no difficulty in respiration) Presence of foul odour from the center of fecal masses
3 wk	Rice hull-size particle Friable fecal masses Considerable reduction of ammonia release
4 wk	No gas release, but still present in the center of the pile
6 wk	Particle size : rice hull size or less No ammonia release No gas release Production of faint brown final composts
8 wk	No gas release Production of faint brown final composts

degree는 처리된 pile의 A, B, C의 순으로 높았다.

공정 후 3~4 주 사이에 내부온도의 재상승은 비가 새어들어가 퇴적물의 함수율이 다시 상승함에 따라 미생물 활동이 증가함으로써 방출된 열이 많아졌기 때문인 것으로 사료되었다. 온도 상승은 미생물 활동의 지표가 된다. 왜냐하면 미생물 활동이 증가함에 따라 방출되는 열의 양도 증가하기 때문이다(Diaz et al., 1993). Compost의 공정 기간을 단기화 하기 위해서는 공정 중의 물 또는 노에 의한 오염을 사전 방지함이 바람직할 것이다.

일찍이 composting의 최적온도는 60°C 정도

인 것으로 보고된 바 있으나(Schulze, 1962), 본 실험에서는 내부온도의 peak가 60~70°C 수준에 있을 때에도(A, B 처리 pile) 60°C 이하로 조절되었을 때(C 처리 pile)와 비교해서 내부온도가 환경온도에 가까워지는 시기(6주 경과 시)는 비슷하였다. 그러나 공정 6주 경과 시 이후의 온도변화를 고려하면 내부온도의 peak를 60°C 이하로 유지하였을 때(C 처리 pile) compost의 안정화는 더욱 좋았다.

3. 3 발효 시설물내의 환경온도 및 습도

공정 개시후 시간 경과별 가공 시설물내의 환경온도 및 습도의 변화는 공정 전과정에 걸쳐 환

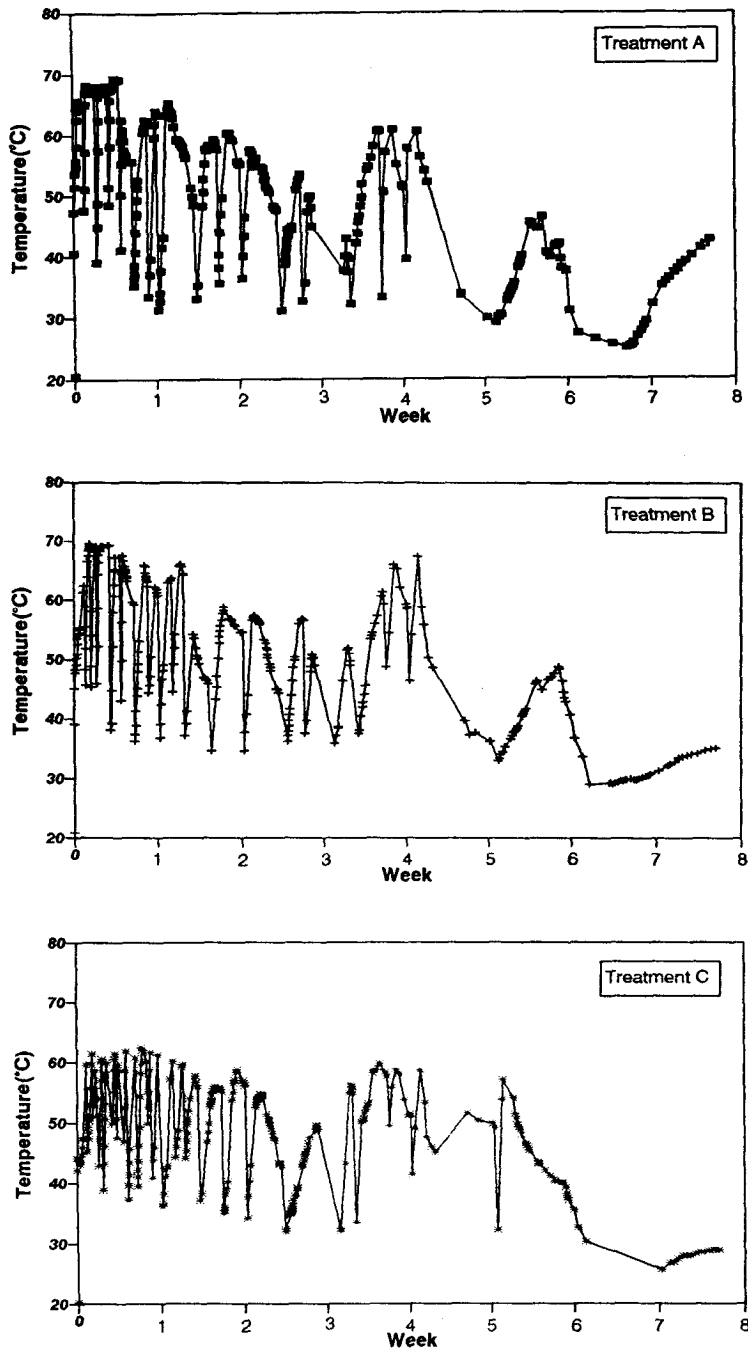


Fig. 1. Changes of temperature with time in the central size of the stack for treatment A, B and C (turning just prior to rapid temperature drop).

경온도는 최저 2°C에서 최고 28°C의 분포를 보였다. 환경습도는 이 기간 동안 최저 11%에서 최고 77%의 범위에 있었다.

3. 4 함수율

본 실험에서의 최초 함수율은 55.4%로 composting 시의 최적 함수율인 40~60%의 범위(Taiganides, 1977)에 있었다. 계분, 톱밥 혼합물의 경우, 함수율이 60% 이상일 때 덩어리를 형성하기 때문에 바람직하지 못하다(Galler and Davey, 1971). 우분의 composting을 위한 최소 함수율은 40%였다(Wilson, 1971). 또한 우분-톱밥 혼합물의 경우, 함수율이 50% 일때 composting 효율이 가장 좋았다(Chung, 1993). 본 실험에서 각 처리별 compost의 함수율의 변화는 공정 개시후 2주까지는 비슷하게 변하다가 3주째에서 5주째까지 처리별로 다소 변화를 보였으나, 6주 경과시부터 다시 함수율의 변화는 처리에 의해 영향을 받지 않았다(Fig.2). 공정 2주 경과시까지 처리 C pile

의 빈번한 교반은 약간의 함수율 감소를 초래하였으며, 4~5주 경과시의 함수율의 큰 차이는 단순히 비가 새어들어간 때문인 것으로 판단되었다. 전반적으로 공정 개시시 55.4% 였던 함수율은 공정 초기에 가장 빨리 감소하여 1주 경과시의 평균 함수율은 46.4%로 9.0% 감소하였고, 2주 경과시의 평균 함수율은 42.0%로 최초보다 13.4% 감소하였으며, 이 후 6주 경과시부터는 처리구 공히 함수율 변화는 현저히 줄어들었으며, 8주 경과시의 평균 함수율은 26.5%로 최초 함수율보다 반 이상 감소하였다. 공정 초기의 높은 함수율 감소(수분 증발)는 교반 빈도와 관련있는 것으로 사료되었다.

Compost를 유기질비료 또는 토양개량제로 현장에서 이용될 때의 최적 함수율은 10~20% 정도이나(Toth, 1973), 일반적으로 가공처리된 compost의 최종 함수율은 30% 이하로 본 실험에서 생산된 compost의 함수율은 적절한 수준에 있었다.

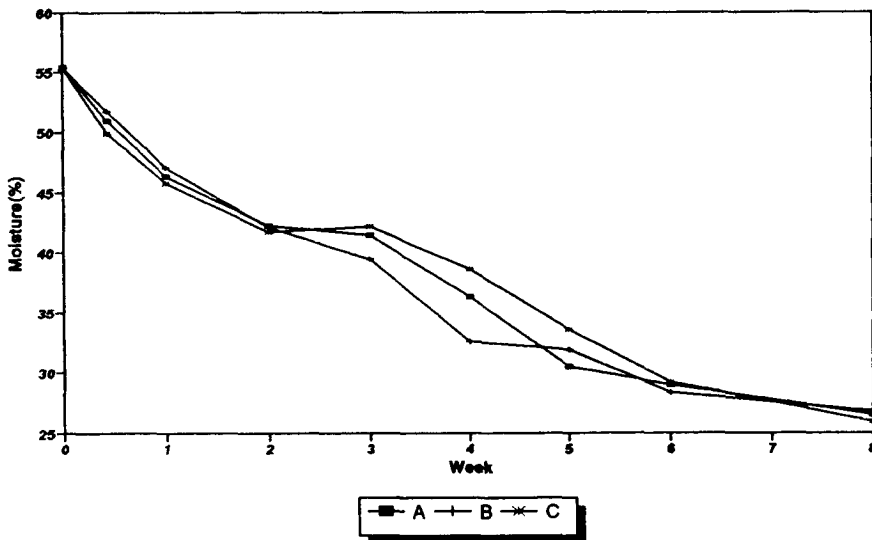


Fig. 2. Changes of moisture contents(%) of composts on different treatments.

3. 5 pH

pH는 공정 개시시 8.5에서 특히 첫 1주간 급격히 증가하였으며, 그 후 4주 경과시 평균 9.4 정도로 peak에 도달한 다음, 6주 경과시부터 pH 변화는 거의 없었고, 8주 경과시의 pH는 약 9.0~9.1의 범위를 보였다(Fig.3). 이러한 양상은 우분 composting 시의 pH 변화 양상(Wilson, 1971)과 매우 비슷하였다. 전 공정에서의 높은 pH 수준은 육계분의 높은 N 함량(낮은 C/N ratio)으로 인한 지속적인 NH₃gas 생산과 손실을 반영한다고 하겠다. Merkel(1981)은 초기 pH의 상승은 NH₃-N 방출, 후기 pH의 하락은 NH₃-N의 NO₃-N화와 탈질소화(denitrification)에 기인한다고 하였다. 본 실험에서 compost의 pH는 내부온도 차이에 의해 별다른 영향을 받지 않았다. 양질의 compost 생산을 위해 공정 개시시의 pH는 6.5~7.2 정도가 바람직하다고 보고된 바 있으나(Sweeten, 1988), Diaz 등(1993)은 폐기물

의 혐기성 소화과정에서는 pH의 좁은 적정 범위(6.5~7.5)가 중요하게 작용하나, composting 시에는 pH의 지나친 차이로 인해 공정상의 어려움을 겪는 일은 드물다고 하였다.

3. 6 C/N ratio(탄질율)

계분 pile의 C/N ratio는 공정 개시시 공히 9.5에서 시작하여 3~4주 경과시까지 증가하다가(최고 14.4~15.5 까지), 4주 이후부터는 안정기에 접어들어 8주 경과시에는 처리에 상관없이 14.0~14.3의 일정한 수치를 나타내었다(Fig.4). 이러한 C/N ratio의 변화는 carbon 손실 요인 보다는 nitrogen 손실 요인에 의해 더 크게 영향을 받았으며(Fig.5), 공정과 더불어 C/N ratio가 증가함은 NH₃-N 증발에 의한 N의 큰 손실을 반영한다고 하겠다. Total kjeldahl N의 손실은 공정 4주 경과시부터는 거의 미미하였다.

Composting 개시시의 적정 C/N ratio의 범위는 20~25 :1 이다(Sweeten, 1988; Diaz

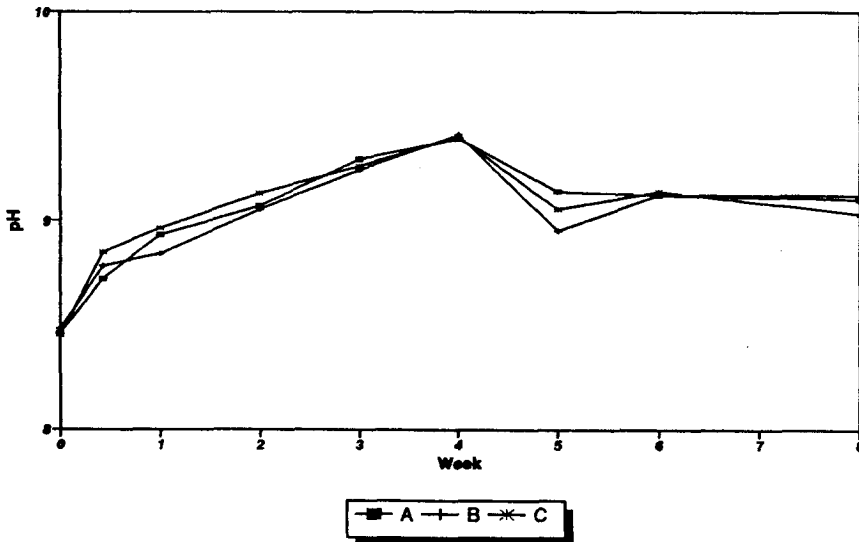


Fig. 3. pH changes of composts on different treatments.

등, 1993). C/N ratio가 적정 범위 보다 낮을 경우 NH₃ 방출로 인한 N 손실은 피할 수 없다 (Merkel, 1981; Diaz 등, 1993). Cathcart 등(1986)은 꽃게 폐기물의 composting 연구에서 자체의 높은 단백질 성분으로 인해 N 손실량

이 매우 큰 것으로 보고하였으며, 공정 개시시 straw의 혼합을 통하여 N 손실을 예방키 위한 최소의 실용적 C/N ratio는 15:1 수준이었다고 보고하였다.

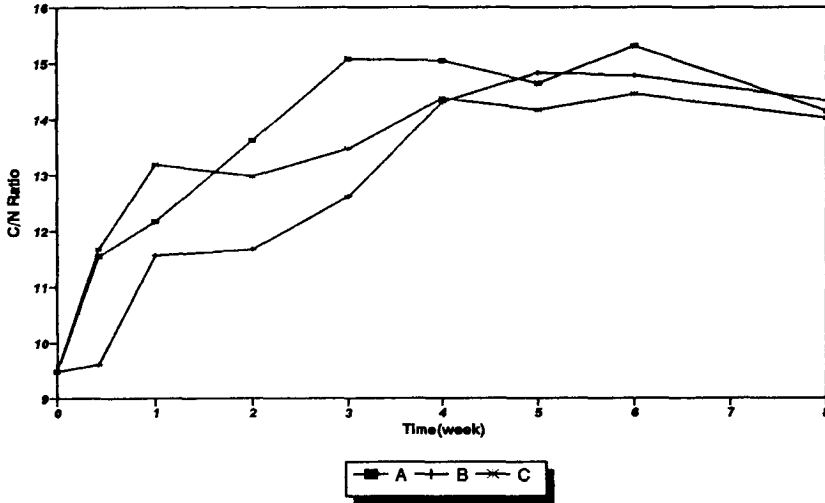


Fig. 4. Changes of C/N ratios of composts on different treatments.

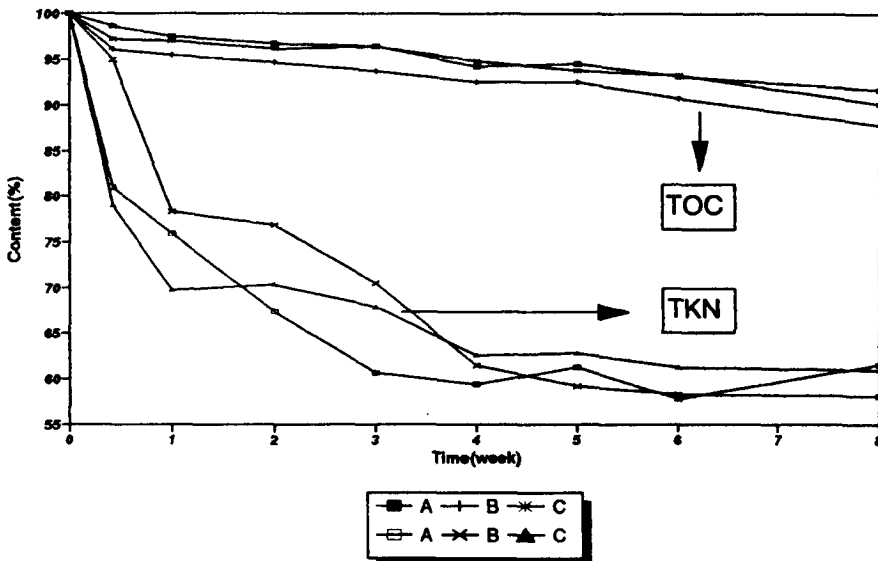


Fig. 5. Changes of total organic carbon (TOC) and total Kjeldahl nitrogen (TKN) contents (%) on different treatments.

3.7 총 중량, 건물 중량, 유기물 중량

공정 개시 후부터 8주간의 총 중량의 변화(수분 포함)는 처리에 의해 영향을 받지 않았고 (Fig. 6), 총 중량은 공정초기 1, 2주간에 걸쳐 급속히 감소하였으며, 평균 감소율은 1주 경과시 22.4%, 2주 경과시 34.8%, 4주 경과시 47.1% 였고, 8주 경과시의 평균 감소율은 61.2%로 이 때의 총 중량은 최초 중량의 38.8% 였다. 대체로 5, 6주 경과시부터 중량 감소율은 매우 낮았다. 전 공정에 걸친 총 중량의 큰 감소는 composting 처리에 의하여 발생하는 수분의 증발(Fig.2)과 유기물 분해(Fig.8)에 기인하였다. Wilson(1971)은 우분의 composting 처리시 총 중량 감소율은 47~80% 정도였으며, 그 발생 요인은 본 실험에서 밝혀진 요인과 동일한 것으로 보고하였다.

건물 중량의 변화를 보면(Fig.7), 총 중량의 변화(Fig.6)가 2차 곡선에 가까웠다면, 건물 중량의 변화는 직선에 가까웠다. 건물 중량의 변

화 양상 또한 전체 공정을 통하여 처리구에 상관 없이 공히 비슷하였으며, 5~6주 경과시 중량 변화는 매우 낮았다. 6주 경과시까지의 건물 감소율은 평균 34.2% 였으며, 이 때까지의 주당 평균 감소율은 5.7% 정도였다. 6주 이후의 건물 손실은 매우 서서히 일어났으며, 8주 경과시의 평균 건물 감소율은 약 35.9%였으며 이 때까지의 주당 평균 건물 감소율은 4.5%로 산정되었다. 이 정도의 손실율은 우분의 composting 처리시의 전체 공정상의 건물 중량의 감소율인 44~67%(평균 약 60%) 보다도 훨씬 낮은 수치였다(Wilson, 1971).

유기물 중량 변화는 2차 곡선을 보였으며, pile 내부온도가 매우 높고 교반 횟수가 빈번하였던 공정 초기에 특히 심하였으며, 공정 5, 6주 경과시부터 변화율은 매우 낮았다(Fig.8). 평균 유기물 감소율은 1주 경과시 25.1%, 2주 경과시 37.6%, 6주 경과시 61.9%, 8주 경과시 65.2%정도의 수치를 보였다. 축산폐기물의 composting 처리시 유기물의 손실율은 17~89%

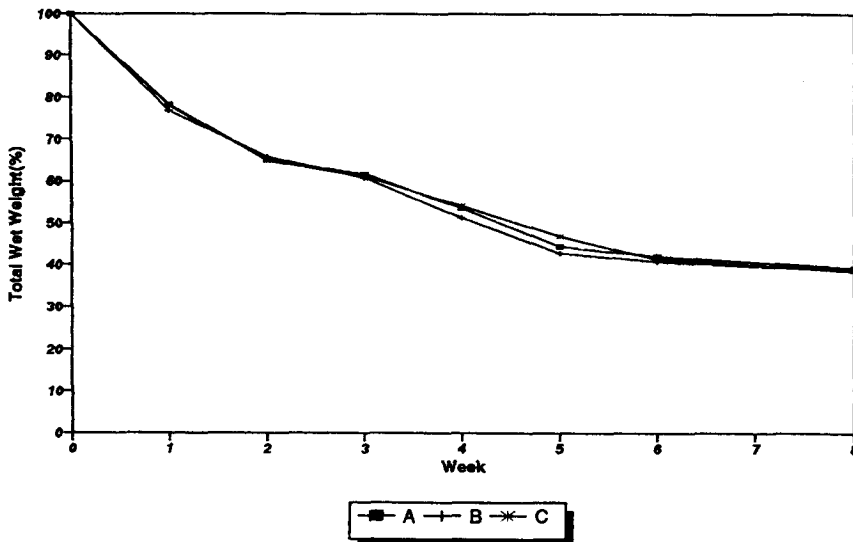


Fig. 6. Total wet weight(%) changes of composts on different treatments.

(Overcash, 1983), 비육우분의 경우엔 7 ~ 99.9%(Hays, 1973)로 매우 넓은 범위를 보이며, 축산폐기물의 종류 및 성분에 따라 유기물 손실율은 상당한 차이를 보이는 것을 알 수 있다.

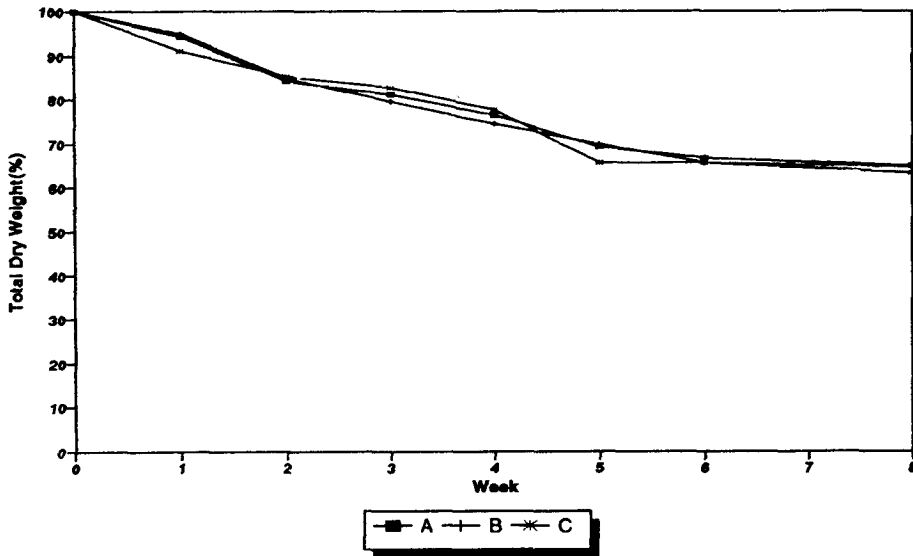


Fig. 7. Total dry weight(%) changes of composts on different treatments.

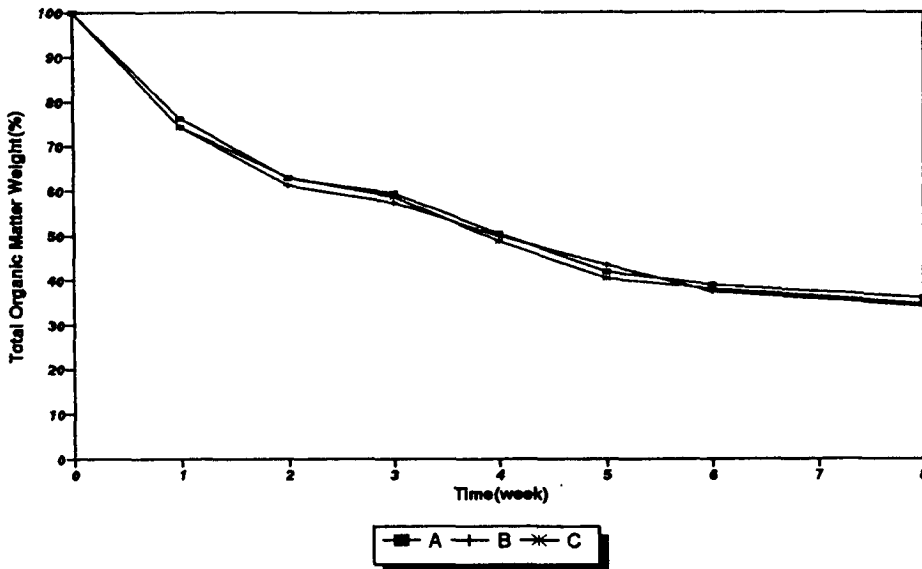


Fig. 8. Total organic matter weight(%) changes of composts on different treatments.

4. 결 론

육계분(생분, 왕겨, 깃털, 일부 사료의 혼합물)을 pile의 내부온도 peak를 조절하여(조절부:처리 A, 70°C 이하:처리 B, 60°C 이하:처리 C) composting 처리시 공정기간에 걸친 물리, 화학적인 성상 변화를 고찰한 바 그 결과는 다음과 같다.

(1) 육계분은 공정 개시후 5~6주 경과시 암모니아취가 없고, 왕겨 크기의 입자로 분해된, 연한 갈색의 최종 생산물로 전환되었다.

(2) 측정이 가능하였던 Compost 중에서 내부온도는 공정 개시후 3~4일경에 peak에 도달하였고, 6~7주 경과시 내부온도는 25~30°C 정도로 떨어졌고, 이 때 교반 후 reheating degree는 처리 A, B, C의 순으로 높았다.

(3) 공정 개시시 55.4%였던 함수율은 8주 경과시 26.5%로 반 이상 감소되었으며, 내부온도 조절에 의한 차이는 나타나지 않았다.

(4) pH는 공정 개시시 8.5였으나, 이 후 증가하여 6주 경과시부터 pH 변화는 거의 없었고, 8주 경과시 약 9.0~9.1의 범위에 있었다. 또한 compost의 pH 변화는 내부온도에 의해 영향을 받지 않았다.

(5) C/N ratio는 공정 개시시 9.5였으나, 이 후 증가하여 4주 후부터는 안정기에 접어들어 8주 경과시에는 14.0~14.3의 범위를 보였다. C/N ratio의 증가는 N의 손실이 주 요인이었다. 육계분 자체의 높은 N 함량으로 인해 compost의 낮은 C/N ratio는 상당한 N 손실을 초래하면서 가장 중요한 제한적 요인인 것으로 지적되었다.

(6) 최초 중량과 비교할 때, 공정 후 8주 경과시의 총 중량은 평균 38.8%, 건물 중량은 평균 64.1%, 유기물 중량은 평균 34.8% 정도였

고, 내부온도 조절에 따른 중량의 변화는 미미하였다.

(7) 전반적으로 육계분 composting 처리시 pile의 내부온도 peak는 70°C 이하였으며, 60°C 이하로 인위적 조절을 하였을 때와 비교해서 compost의 물리, 화학적 성상 변화의 차이는 적었다.

(8) 육계분 compost는 공정 개시 후 5~6주 경과시에 물리, 화학적 변화가 매우 적은 물질로 전환되었으며, 공정상의 N 손실을 사전 방지하여 composting 효율을 향상시키는 방안이 고려되어야 할 것으로 사료되었다.

참 고 문 헌

- 1) Association of Official Agricultural Chemists. 1985. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th ed. Washington, D. C.
- 2) Cathcart, T. P., F. W. Wheaton, and R. B. Brinsfield. 1986. Optimizing variables affecting composting of blue crab scrap. *Agricultural Wastes* 15: 269-287.
- 3) Chung, J. C. 1993. Composting of livestock waste and development of operating parameters I. Development of optimum process parameters in cow manure composting. *Journal of KOWREC*(Vol. 1) 1:69-84.
- 4) Diaz, L. F., G. M. Savage, L. L. Eggerth, and C. G. Golueke. 1993. *Composting and Recycling Municipal Solid Waste*. Lewis Publishers, Boca

- Raton, Fa.
- 5) Galler, W. S. and Davey, C. B. 1971. High rate poultry manure coposting with sawdust. In: Livestock Waste Management and Pollution Abatement, pp. 159-162. ASAE, St Joseph, Mich.
 - 6) Merkel, J. A. 1981. Managing Livestock Wastes. AVI Publishing Company, INC., Westport, Ct.
 - 7) Overcash, M. R. 1983. Livestock Waste Management. Volume II. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida.
 - 8) Schulze, K. L. 1962. Continuous thermophilic composting. Appl. Microbiol. 10:108-122.
 - 9) Sweeten, J. M. 1988. Composting manure and sludge. In: Proc. Nat. Poult. Waste Manage. Symp. pp. 38-44. The Ohio State Univ., Columbus.
 - 10) Taiganides, E. P. 1977. Composting of feedlot wastes. In: Animal Wastes. pp. 241-251. Applied Science Publishers LTD, London.
 - 11) Toth, S. J. 1973. Composting agricultural and industrial organic wastes. In: Symposium on Processing Agricultural and Municipal Wastes (ed. G. E. Inglett), pp. 172-182. AVI Publishing Co., Westport, Conn.
 - 12) University of California at Berkeley. 1953. Reclamation of municipal refuse by composting. Tech. Bull. No. 9, Sanitary Engineering Research Project.
 - 13) Wilson, G. B. 1971. Composting dairy cow wastes. In: Livestock Waste Management. pp. 163-165. ASAE, St Joseph, Mich.