



골프장 잔디예초물 종류에 따른 퇴비화 과정 중 이화학적 변화와 부숙도 평가

하승명[†], 장기윤, 한기필*, 홍주화*, 이종진*

충남대학교 농업생명과학대학 생물환경화학전공, 판교리아 농업환경연구소

(2005년 11월 14일 접수, 2005년 11월 28일 채택)

Changes of Physico-chemical Properties and Maturity Assessment during Composting of Turfgrass Clipping Types from the Golf Courses

Seung Myung Ha[†], Ki Woon Chang, Ki Pil Han*, Joo Hwah Hong*, Jong Jin Lee*

Dept. of Bio Environmental Chemistry, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea, PANKOREA Agriculture Environmental Research Institute*

ABSTRACT

The golf courses more than about 200 are operating in Korea. From the golf courses, a great amount of turfgrass clippings tend to increase, steadily. Materials used in the experiment were Creeping Bentgrass(CB), Kentucky Bluegrass(KB), Korean Lawngrass(KL), rice bran and composted chicken drop. Treatments are CB, KB, and KL. The temperature during the composting of all treatments increased rapidly and reached at the highest temperature(57.9°C, 67.8°C, 74.3°C) within 20 days, and then stabilized to the range of 35.2~41.6°C at the 30th day. The pH values of all treatments decreased on the first day. However, they were increased rapidly after three days and decreased again on 10~20 days. The pH values of all treatments at the final day were stabilized to the low alkali levels. The contents of total carbon during the period of composting tend to decrease and total nitrogen was increased for factor of reduction of volume. CEC value of all treatments during the period of composting tends to increase. The round paper chromatogram of extracted solution of KL sample was the sharpest and clearest among all treatments. The G.I. values of CB, KB, and KL in 30th day of composting were about 95.1, 77.7, and 98.7 in germination test using chinese cabbage, respectively.

Conclusively, all turfgrass clippings used in this experiment were composted well, suitable as composting products standardized by KSC. The maturity of the final compost samples is best in KL, followed by CB and KB treatments. The turfgrass compost can contribute to the plant cultivation for environment-friendly farm, and the results of this study can become the basic data of turfgrass clippings compost. Further research on the mixing ratio of each material is required

[†]Corresponding author (smha99@hotmail.com)

to produce compost of good quality.

Keywords : Creeping Bentgrass, Kentucky Bluegrass, Korean Lawngrass, Maturity

초 록

문화생활의 향상과 더불어 골프를 즐기는 인구는 해를 거듭할수록 꾸준히 증가하고 있다. 이에 따라 골프장 설립도 활발하여 현재 200여개 이상의 골프장이 운영, 건설 혹은 착공을 준비하고 있어 발생하는 잔디예초물의 양도 계속 증가되고 있는 실정이다. 본 연구는 골프장에서 발생하는 잔디예초물을 농업적인 유기자원으로 재활용하기 위하여 호기적정체식퇴비화장치에서 잔디의 종류에 따른 퇴비화를 약 30일간 진행하면서 시료를 채취하여 이화확성을 분석하여 부숙도를 평가하였으며 실험에 사용한 잔디예초물의 초종은 Creeping Bentgrass(CB), Kentucky Bluegrass(KB), Korean Lawngrass(KL)이며 보조재료로는 계분과 탈지강, 처리구는 잔디예초물 초종별로 CB, KB, KL의 세 처리구를 선정하였다.

퇴비화 기간 동안 온도는 급격히 상승하여 약 20일 후 CB, KB, KL 처리구가 각각 57.9℃, 67.8℃, 74.3℃의 최고온도를 보였고, 주 발효기간이 끝나고 30일차 부근에서는 35.2~41.6℃로 낮아져 안정화되었다. 처리구의 pH는 상승하여 적정 pH인 6.0~8.5 범위에 준하는 8.25, 7.84, 8.34의 값을 나타내었고, 각 처리구의 C/N 비는 감소하여 11.7~13.5 범위에서 완료하였다. 배추, 상추종자를 이용한 식물독성실험에서는 KL의 G.I.값이 98.7, 78.2로 가장 높은 결과를 보였으며 원형어 지크로마토그래피에서도 KL이 가장 빨리 전개되었다.

이러한 결과를 볼 때 KL, CB, KB의 순으로 퇴비의 부숙이 잘 되었으며 비료공정규격에도 모두 적합하였다. 향후에는 양질의 퇴비를 생산하기 위한 잔디예초물의 혼합비율에 따른 퇴비화연구와 작물재배 실증시험 등의 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

핵심용어 : Creeping bentgrass, Kentucky blue grass, Korean lawngrass, 부숙도

1. 서론

잔디예초물의 경우 유기성 폐자원으로 유기비료 자원으로서의 가치가 높은 데도 불구하고 현재 폐기물관리법시행령(제2조 2항)에 의하여 사업장 폐기물로 분류되어 처리의 어려움이 있다. 최근 들어 주5일제 근무와 문화생활의 향상과 더불어 골프를 즐기는 인구는 해를 거듭할수록 꾸준히 증가하여 년 간 약 1,000만 명 이상 이고 이에 따라 골프장 설립도 활발하여 현재 200여개 이상의 골프장이 운영, 건설 혹은 착공을 준비하고 있는 실정이며 따라서 발생하는 잔디 예초물의 양도 계속 증가되고 있는 실정이다. 잔디예초물은 전국 200개 이상의 골프장으로부터 발생되고 있다. 골프장에

사용되는 잔디는 Creeping bentgrass, Kentucky bluegrass, Korean lawngrass가 대표적인데 Creeping bentgrass는 그린, 티에 사용되며 Kentucky bluegrass는 티, 페어웨이, Korean lawngrass는 티, 페어웨이, 러프, 해비러프에 사용된다. 골프장 마다 발생하는 잔디예초물의 양은 골프장의 크기와 사용되는 잔디의 종류에 따라 다르겠지만 일반적으로 발생하는 잔디예초물의 양은 Korean lawngrass가 가장 많고 다음으로는 Creeping bentgrass, Kentucky bluegrass가 비슷한 수치로 발생된다.

본 연구는 CB, KB, KL과 축분(계분), 탈지강을 혼합하여 강제송풍에 의한 정체식으로 퇴비화를 실시하여 골프장 잔디예초물의 종류에 따른 퇴비

화 과정 중 시기별 이화학적인 특성을 조사, 부숙도를 평가 하였다. 이로써 골프장 폐기물인 잔디예초물을 재활용화 하여 자원의 효율적 이용과 폐기물의 발생을 억제할 것이며 잔디예초물의 종류별 퇴비화 가능성 조사, 잔디예초물 퇴비의 품질을 KSC와 비교하여 퇴비로서의 적합성 판단, 잔디예초물 퇴비의 친환경 농자재로 활용하여 친환경농업에 기여, 잔디예초물 재활용 연구의 기초자료로 활용하여 정부의 친환경적농업정책에 기여하고 농가 소득증대와 토양환경개선 등 유기농업을 발전시키고자 하는 방안으로 수행 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

퇴비화 처리에 사용된 잔디예초물의 초종은 Creeping Bentgrass(CB), Kentucky Blue grass(KB), Korean Lawngress(KL)이며 처리구는 잔디예초물 초종별로 CB, KB, KL의 세 처리구로 선정하였다. CB(유성 CC), KB(캐슬파인 CC), KL(안양 CC)을 각 골프장의 협조아래 채취하여 수급하였으며, 보조재료로 쓰인 발효건계분은 부산광역시 남구의 (주)유청사랑비료 제품을 사용하였고 탈지강은 충남 연기군의 (주)세림현미 제품을 이용하였다. 잔디초종별 예초물의 성분분석 시료는 70℃에서 24시간 동안 건조시켜 조제하여 이용하였으며, [Table 1]은 잔디, 탈지강 및 발효건계분을 분석한 결과이다.

2.2 퇴비원료의 배합

퇴비화에 사용된 퇴비 원료의 배합은 잔디예초물 (CB, KB, KL) 80%, 발효건계분 10%, 탈지강을 10% 사용하였다.

2.3 퇴비화방법

본 실험은 잔디예초물을 이용한 퇴비화를 위하여 강제송풍정체식 시설(Aerated static pile, ASP)을 통하여 수행되었다. 본 시험에서 사용된 Aerated Static Pile(ASP) system으로 정체식 시설의 규모는 각 처리구당 약 1.2m³(1.0m×1.2m×1.0m)이며 Pile의 바닥은 구멍이 뚫린 PVC 파이프(Ø; 75mm)를 설치하였고, 그 파이프 위에는 균일한 송풍을 위하여 약 10cm 두께의 자갈을 깔았다.

Pilot 퇴비화 장치의 공기는 강제 송풍방식으로 10 L/min/m³ 내외의 풍량으로 1회씩 송풍하였으며, 1일 10분간 실시하였다. 본부숙의 완료 시점은 퇴비화의 뒤집기를 하여도 온도 변화가 더 이상 일어나지 않는 시기로 결정하였으며, 그 기간인 약 30일의 퇴비화기간 동안의 뒤집기 횟수는 수작업을 통해 총 3번 수행하였다. 그리고 그 이후는 정지해 놓고 후숙발효를 시켰다.

2.4 시료의 채취 및 보관

퇴비화 과정 중 시료채취는 퇴비화 개시일을 1일째로 간주하여 1, 3, 5, 7, 8, 10, 20, 21, 30일째 등 총 9회에 걸쳐 실시하였으며, 퇴비더미의 30~35cm 깊이의 4지점에서 시료를 일정량씩 취하여 혼합하였다. 채취된 시료는 직사광선이 차단된 공간에서 풍건한 다음 2mm 체로 조제한 후 이

[Table 1] Characteristics of Moisture Contents, Total Carbon and Total Nitrogen of Turfgrass Species Dried and Sub-Materials (Unit : g kg⁻¹)

Materials	Creeping bentgrass	Kentucky bluegrass	Korean lawngress	Rice bran	Composted chicken drop
Total carbon	191	519	531	456	178
Moisture(%)	53.3	76.4	62.3	11.2	31.9
Total Nitrogen	23	47	20	27	11
C/N ratio	8.3	11.0	26.6	17.1	16.2

화학성 분석을 위하여 사용되었고, 잔여 시료는 -4°C 의 냉동실에서 보관하였다.

2.5 분석방법

퇴비화 기간 중 퇴비더미의 온도 측정은 Digital thermometer (HY-550)를 이용하였으며, 시료 채취지점은 가로선상의 3곳에서 표면으로부터 5, 25, 50cm 깊이의 온도를 측정하여 평균값으로 나타내었다.

화학성 분석은 농촌진흥청의 토양화학분석법에 의거하여 총탄소(T-C)는 dry-ash법, 총질소(T-N)는 Kjeldahl법, 양이온치환능력(CEC)은 1N-NH₄OAc법을 이용하였고, pH, EC는 1 : 10 법을 이용하여 측정하였다. 중금속 및 무기성분(K, Ca, Mg, P)은 HClO₄로 분해한 후 Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES)와 Atomic Absorption Spectrophotometer(AA)로 측정하였다.

수분함량은 시료를 105 $^{\circ}\text{C}$ 의 dry oven에서 12 시간을 건조한 후 방냉하여 감량으로 수분함량을 산출하였으며 퇴비 부속도를 평가하기 위한 방법으로 식물독성시험을 수행하였고, 이는 풍건된 시료와 증류수를 1 : 25(w/v)으로 혼합한 후 환류냉각장치를 이용하여 70 $^{\circ}\text{C}$ 에서 2시간 환류추출한 다음 여과지(Whatman No. 42)를 이용하여 여과하였다. 이렇게 여과된 여액을 9cm 여과지(Whatman No. 2)를 깔은 직경 9cm petridish에 5ml를 넣고 배추종자를 10개씩 파종하였다. 파종 후 5일 뒤에 발아상태와 뿌리길이를 측정하였다. 실험은 3반복으로 실시하여 G.I.(Germination Index)을 구하였다.

원형여지크로마토그래피는 0.5% AgNO₃ 용액으로 여과지(Watman No. 42, ϕ 11cm)를 2~3분간 충분히 적신 후, dry oven에서 건조시켜 Aluminum foil에 보관하였다. 시료 1g에 0.1N NaOH용액 10ml를 가하여 진탕하면서 실온에서 16시간 방치후 추출한 후에, 원심분리(Refrigerator centrifuge : himac CR 20B2, HITACHI)하여 얻은 상등액 1 ml를 개조식 Conway unit 안에 넣어 20~30분간 전개시켜 크

로마토그램을 얻었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 온도변화

퇴비화 과정 중 퇴비더미의 온도변화는 미생물의 분해활동을 활발하게 할 수 있도록 하기 때문에 퇴비 부속도에 가장 중요한 인자이다. 이는 퇴비화 과정의 온도변화는 퇴비화 반응의 진행여부라 할 미생물의 대사활동을 나타내는 지표로 볼 수 있다. 또한, 퇴비물질의 분해작용이 지속되는지의 여부를 판단하는 기준이 되기도 한다. 온도변화는 분해되는 물질의 특성과 배합비, 수분함량, 통기조건 등과 같이 퇴비화에 영향을 미치는 조건들에 의해 크게 달라질 수 있다.

호기적인 퇴비화 과정은 미생물의 활성화에 필수적인 산소의 공급량에 따라 크게 달라질 수 있으며 산소를 공급해주기 위한 기본적인 통기방법으로는 기질의 물리적인 뒤집기와 자연적인 공기흐름 그리고 기계적인 강제송풍 등이 있다.

잔디, 건계분, 탈지강을 혼합하여 ASP system에서 퇴비화를 하였을 때 퇴비더미의 온도변화는 [Fig. 1]에 나타난 바와 같다. 본 실험을 수행한 기간 동안에 퇴비의 온도 변화는 [Fig. 1]에서 보듯이 온도가 급격히 상승하기 시작하여 5일 정도에 60 $^{\circ}\text{C}$ 이상으로 증가하였으며, 7일째와 20일째에는 뒤집기 후 급격히 감소하는 경향을 보였다. 그 외에는 60 $^{\circ}\text{C}$ ~70 $^{\circ}\text{C}$ 의 고온기를 유지하다가 서서히 감소하였지만 퇴비가 더 안정화 되기 위해서는 후속기간이 필요하다고 판단된다. 온도가 상승한 것은 고온성미생물들의 번식으로 퇴비의 긴 사슬의 유기물질들을 분해하는 과정 중 에서 열이 발생한 것이다. 20일 이후로는 온도가 하강하였는데 강제송풍에 의한 차가운 공기공급이 미생물의 대사 작용으로 생긴 열을 발산 시키고 퇴비화 거의 다 되어 미생물의 작용이 줄어들어 온도가 감소한 원인으로 판단되며 처리구별로 살펴보면, KL처리구가 가장 높은 온도를 유지하였으며, KB와 CB 처리구는 약간 낮은 온도 상승을 보였다. 이는 잔디 예초물의 입자크기에 따른 공극율의 차이 때문인

것으로 판단된다. 공극이 양호하여 퇴비화 기간 동안 산소공급 등이 원활하게 이루어져 미생물 활동이 촉진되고, 부숙조건을 만족시킴에 따라 입자가 큰 KL처리구에서 온도가 높게 상승된 것으로 보인다. 반면에 입자크기가 작은 CB처리구는 통기성이 원활하지 않아 온도 상승이 크지 않았으며, 모래 등의 이물질이 많은 것도 온도 상승 및 퇴비화를 저해하는 요인이 되었을 것으로 판단된다.

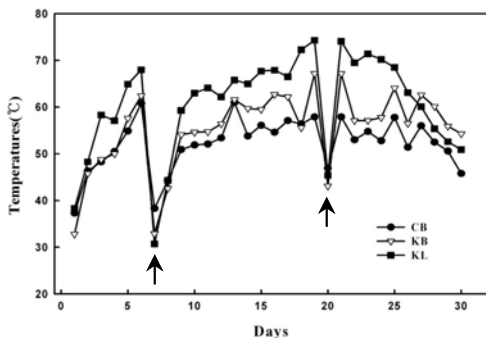
3.2 수분함량변화

수분변화는 송풍과 공극, 퇴비더미 형태, 발생하는 열, 기후 등과 밀접한 관계를 가지고 있으며, 수분조건은 퇴비화의 효율에 큰 영향을 미친다. 퇴비화 과정 중 수분이 과다할 경우 공극이 적어 호기적인 상태가 아닌 혐기적 상태에서 유해 물질이 생성될 가능성이 있다. 반대로 수분이 부족할 경우에는 퇴비화 초기에 미생물의 활성이 저해될 수 있으며, 수분증발에 의한 열의 손실이 낮아 과도한 온도 상승의 원인이 될 수 있다. 퇴비화에 영향을 미치는 인자들 중에 수분량은 초기에 55~65% 정도 유지하는 것이 바람직하다고 하였다. 흡수성이 우수한 생물질은 일반적으로 그 이상의 함수율을 유지하여도 무리없이 퇴비화가 진행된다고 하였다. 수분증발은 퇴비화 과정 중 송풍에 의해 열이 제거되기 때문에 이루어지며, 또한 대사적으로 활성화된 퇴비화의 자연적인 열의 감소에 의해 계속적으로

퇴비의 수분은 감소된다. ASP system에서 수행된 퇴비화 과정 중 각 퇴비더미들의 수분함량 변화는 [Fig. 2]에 나타낸 바와 같다. 수분함량은 58%, 60%, 61%에서 시작하였고 두 번의 뒤집기 과정에 수분을 60%로 보충해주었으며 최종적으로 40%정도에 달하였다. 수분함량이 감소하는 것은 매일 일정한 시간에 걸친 강제송풍에 의한 초기의 퇴비더미속의 균집하고 있는 고온성 미생물의 활발한 분해능과 함께 발생하는 CO₂와 수분증발 때문인 것으로 판단된다.

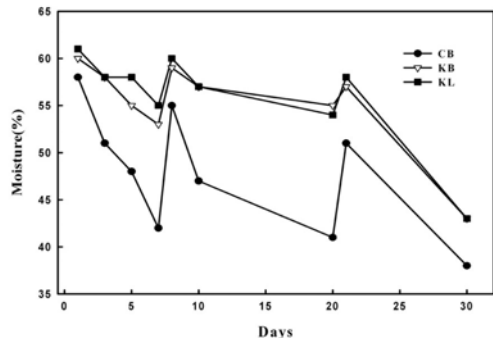
3.3 pH변화

퇴비화에 있어 적절한 pH는 대체로 6.5~8.5이며 퇴비화 초기에는 유기산의 생성에 의해 초기에 감소 후 퇴비화가 진행되면서 단백질 분해에 의한 저분자 아미노산의 화합물에서 암모니아 가스의 생성에 의해 pH는 조금씩 증가한다. 퇴비화 초기에는 pH가 6.0~6.5에서 낮아졌다가 시간이 경과함에 따라 pH가 약알칼리성인 7.8~8.3에서 안정화되었다. 퇴비화 초기에는 산을 형성하는 중온성 미생물이 복잡한 탄소질을 분해하여 중간생성물인 유기산을 생성하기 때문에 pH가 낮아진다. 더욱이 이렇게 생성된 물질은 호기성 미생물의 기질로서 이용된다. 각 처리구의 pH는 7.8~8.3으로 산성도 양에 대한 다소의 liming 효과가 기대될 정도로 높다. 퇴비화 과정 동안 pH의 변화는 [Fig. 3]에 나



[Fig. 1] Changes of temperature during the period of composting.

↑ : Pile turning and moisture applying



[Fig. 2] Changes of moisture during the period of composting.

타낸 바와 같다. 퇴비화 3일째, 모든 처리구에서 증가하다가 10일째 감소하는 경향을 보인 후 다소 빠르게 pH가 높아졌으며 최종적으로는 약알칼리성에서 안정화되었다.

3.4 EC변화

퇴비화 과정 중 EC값은 유기물이 분해되면서 유리되는 이온들의 활성으로 증가된다. Inbar 등에 의하면 우분을 이용한 퇴비화에서 EC 값의 증가에 영향을 미치는 이온들은 NO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , 그리고 PO_4^{2-} 등이라고 하였다.

모든 처리구에서는 유기물이 분해하면서 유리되는 이온들의 활성으로 EC 값이 증가하다가 감소하는 경향을 보였다. Levi-Minzi 등(1986)은 회분 함량이 계속 증가함에도 불구하고 EC 값이 낮아질 수 있는데, 이러한 결과는 퇴비화가 안정화 되면서 무기물 부분에 nonconducting salts가 증가하는 반면에 conducting salts가 감소하기 때문이라고 설명하였다.

3.5 T-C, T-N변화

퇴비화 과정 중 미생물은 유기물질이 분해될 때 에너지원으로 탄소를, 영양원으로서 질소를 이용한다. 퇴비더미의 온도하강은 대부분 탄소를 함유하는 물질이 미생물의 분해로 인한 과정 중에서 발생하는 에너지공급이 어려워 생기는 것이다.

탄소는 미생물의 물질대사활동에 의해 CO_2 로 산화되어 방출되며, 그 나머지는 세포벽, 막, 원형질

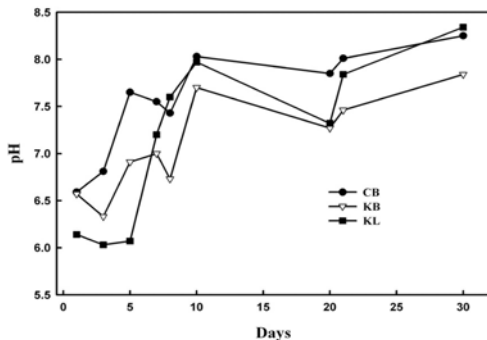
로 전환되거나 잔여물로 남게 된다. 퇴비화가 진행됨에 따라 이용될 수 있는 탄소의 감소와 지연된 대사작용 때문에 CO_2 의 발생량은 감소하게 된다.

[Fig. 5]와 [Fig. 6]은 퇴비화 과정 중 T-C와 T-N의 변화를 나타낸 것이다. 퇴비화 과정 중 모든 처리구에서 T-C는 감소하는 경향을 보였다. 이 시기는 [Fig. 1]의 온도변화에 나타난 것과 같이 퇴비더미의 온도가 가장 높을 때 올라간 후 감소하는 시기와 비슷하다. 퇴비화 기간 동안 탄소는 분해하다가 30일 이후로는 모든 처리구에서 거의 감소되지 않았다.

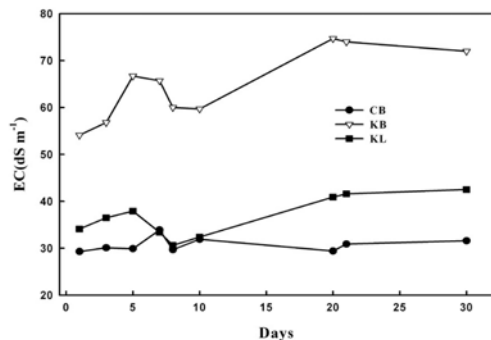
퇴비화 과정 중 질소는 퇴비더미에 부분적인 혐기상태로 인해 암모니아 가스로 전환되어 휘산되기 때문에 감소된다. 그러나 [Fig. 6]에서 보는 바와 같이 퇴비화 과정 중 질소는 초기에 감소하다가 증가하는 것은 유기물의 무기물화로 조기의 비중에서의 함량보다 분해를 통한 비중의 증가와 함께 휘발성물질이 감소하기 때문이며 질소 증가와 탄소의 감소는 밀접한 관계를 가지고 있다. KB의 질소 함량을 보면 질소함량변화는 있었지만 최종 함량은 큰 차이가 없었고, CB, KL은 질소 함량이 증가하는 경향을 보였다.

3.6 C/N ratio 변화

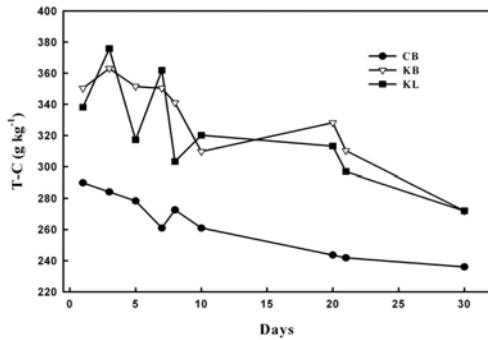
유기성 폐기물의 C/N ratio는 퇴비화를 효과적으로 진행시키기 위한 중요한 인자로서 퇴비화에 있어 적정 C/N ratio 25~35로 알려져 있다. 만약 이 범위보다 C/N ratio이 낮으면 알칼리 상태에서



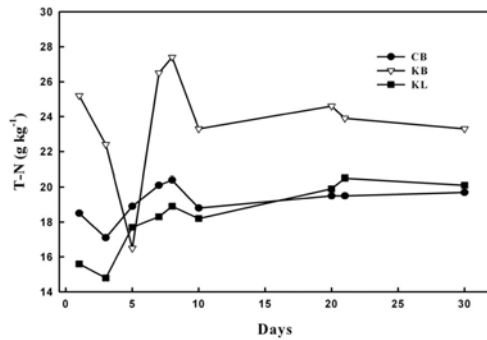
[Fig. 3] Changes of pH during the period of composting.



[Fig. 4] Changes of EC during the period of composting.



[Fig. 5] Changes of T-C during the period of composting.

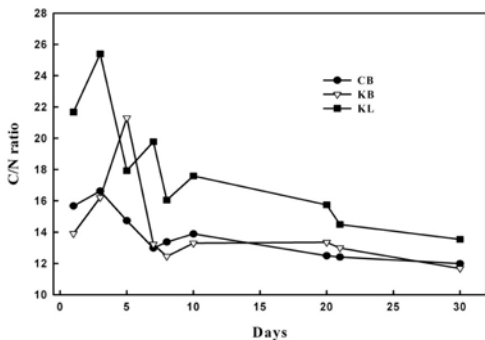


[Fig. 6] Changes of T-N during the period of composting.

질소가 일부 암모니아 가스로 휘산되어 손실되고, 반대로 50이상으로 높아지면 미생물의 영양원으로 이용되는 질소의 부족으로 세포의 성장이 감소하기 때문에 그만큼 퇴비화가 지연된다.

퇴비화 과정 중 퇴비의 C/N ratio는 분해과정이 지속적으로 진행됨에 따라 감소하게 된다. 그리고 Riffaldi 등에 의하면 퇴비화 과정 중 C/N ratio는 4~5주까지 급격한 변화를 보이다가 그 후 퇴비화가 진행될수록 감소율이 점차 작아진다고 하였다.

C/N ratio는 [Fig. 7]에서 보는 바와 같다. 유기성폐기물의 탄질율은 효과적으로 퇴비화를 진행시키기 위한 가장 직접적인 중요한 인자이다. 탄소는 미생물의 에너지원으로, 질소는 미생물의 생장에 필요한 단백질 합성등의 영양원으로 퇴비화에서 C/N율이 20 이하일 때를 퇴비의 부숙도를 결정하



[Fig. 7] Changes of C/N ratio during the period of composting.

는 지표로서 보고 되고 있으며, C/N율이 15 이하일 때를 부숙이 되었다고 인정한다. 하지만 퇴비화 초기 원료물질의 C/N율 차이 때문에 이를 부숙의 절대적인 지표로 인정하지 않는 경우가 많다.

Morel 등은 이를 보완하여 퇴비화에서 초기 C/N율대 최종 C/N율비의 값이 0.75 이하를 부숙의 지표로 설정하였다. 그런데 이 실험에서는 초기 C/N율대 최종 C/N율비의 값이 CB처리구는 0.76, KB처리구는 0.84, KL 처리구에서는 0.62 값을 나타내었는데 부숙정도만을 평가한다면 KL 처리구가 가장 높은 것으로 보인다.

3.7 CEC 변화

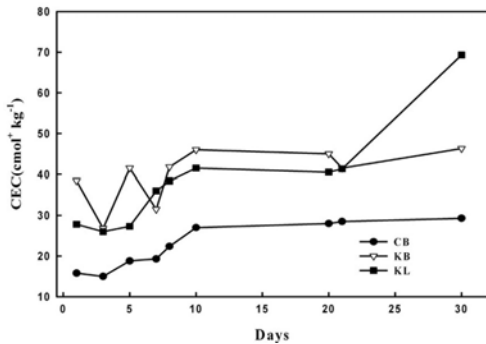
유기물의 양이온치환용량과 부숙도 사이에는 어느 정도 연관성이 있다. 퇴비의 양이온치환용량이 증가되는 과정은 리그닌과 같은 물질은 축적뿐만 아니라 유기물 중에 carboxyl groups와 phenolic hydroxyl groups의 증가에 의해 설명되며, 두 그룹에 의해 대부분의 양이온치환용량이 결정된다. Inoke 등은 짚과 축분의 양이온치환용량은 분해가 진행됨에 따라 점차적으로 증가한다고 하였다.

[Fig. 8]은 퇴비화 과정 중 양이온치환용량을 나타낸 것이다. 모두 처리구는 퇴비화가 진행될수록 양이온치환용량이 계속적으로 증가하는 경향을 보이는데 이것은 퇴비화 전기간 동안 분해가 계속되어 발생하는 음이온량의 증가에 의한 것이다. CB, KB, KL의 양이온치환용량 변화가 [Fig. 5]에서 나타

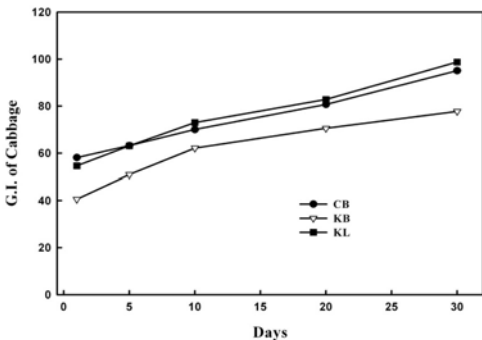
난 탄소의 변화와 같은 경향을 보이고 있다. 즉 KB, KL의 양이온치환용량이 CB에 비해 높은 이유는 탄소량이 많아 carboxyl groups을 다른 처리구 보다 많이 가지고 있어서 그런 결과가 나온 것으로 판단된다.

3.8 식물독성실험과 원형여지크로마토그래피에 의한 부숙도 판정

부숙도를 평가하기 위하여 여러 가지 항목들이 유용하게 사용되고 있지만, 유식물에 대한 식물독성 실험은 마지막으로 점검할 수 있는 매우 유용한 방법 중의 하나로 인식된다. 퇴비제품 중 식물독성 성분은 매우 다양하다. 즉 퇴비화 과정 중 일시적으로 존재하는 성분으로서 휘발성 유기산, 폐놀성 화합물, 암모니아 및 에틸렌 가스 등이 있고, 퇴비 내에서 제거가 곤란한 혼합물로는 중금속과 과다 염류 등을 들 수 있다.



[Fig. 8] Changes of CEC(cmolc/kg) during the period of composting

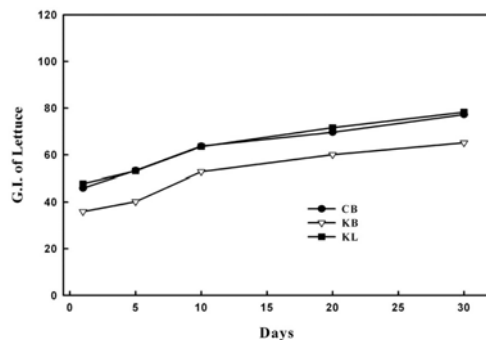


본 실험에서는 퇴비화가 진행될수록 G.I 값이 높아졌기 때문에 수용성염류에 의한 독성은 아니라고 판단된다. 왜냐하면 무기이온이나 수용성염류에 의한 식물독성은 퇴비화 전 기간에 걸쳐 비슷한 수준의 낮은 G.I 값을 보이기 때문이다. 장 등(1995)의 연구 결과를 보면 유기산이 식물뿌리에 심한 장애를 일으키는 주원인이라고 설명하고 있다.

[Fig. 9]는 퇴비화 기간 동안 채취된 각 퇴비더미들과 증류수를 혼합하여 환류냉각장치를 통한 추출물이 배추종자와 상추종자에 미치는 식물독성 효과를 G.I 값으로 표시한 결과이다. Saviozzi와 Zucconi 등은 G.I 값이 80이상일 때를 식물독성이 소실하는 시기로 판정하였고, Garcia 등(1989)은 50 이상일 때를 퇴비로서 사용이 가능하다고 보고했다. 그들의 판정법을 기준으로 할 때 식물독성 실험결과 상추의 G.I값은 65.2~78.3으로 퇴비로 사용가능한 범위이나 완숙퇴비로 판단하기는 어렵다고 사료된다. 다만 염에 강한 배추의 경우 G.I값이 77.7~98.7로 완숙에 가까워진 단계이다. 주말효만 거친 것을 감안하면 일정기간의 후숙발효를 통해 보다 안정된 퇴비가 될 것으로 판단된다.

원형여지크로마토그래피법은 퇴비의 부숙도를 판정하기 위한 간이법의 하나로 이동속도가 빠른 저분자 화합물은 크로마토그램이 빠르게 전개되어 이동되고, 분해가 잘되지 않는 고분자 화합물들은 이동속도가 느려 중심부에 남아 있으면서 얇은 자주색을 나타내는 것을 이용한다.

부숙이 진행됨에 따라 각종 미생물의 활동이 활



[Fig.9] G.I. of Cabbage and Lettuce during the period of composting

발해져 아미노산, 당류, 페놀성 화합물이 유기물의 분해 과정에서 유리되며 이들은 발효 과정 중 비교적 고온상태에서 증축합되어 각종의 amine, carbonyl화합물 및 펠라노이신상물질군의 양과 종류가 많게 되고 이 때문에 부속 진행정도에 따라 톱니성 부분이 형성된다. [Fig. 9]에서 볼 수 있는 것처럼 처리구에서 10일부터는 톱니모양이 형성되기 시작하여 부속이 더욱 진행된 30일 이후에는 뚜렷한 형태로 전개되었다. 주말효기간이 끝난 30일째에서는 KL처리구가 부속의 정도가 가장 안정하게 나타났다. KL와 CB처리구는 많은 부속의 효과를 보이지만 KB처리구가 다소 부속이 좋지 않은 것으로 판단된다.

3.9 잔디초물 종류별 퇴비화 퇴비의 품질검사

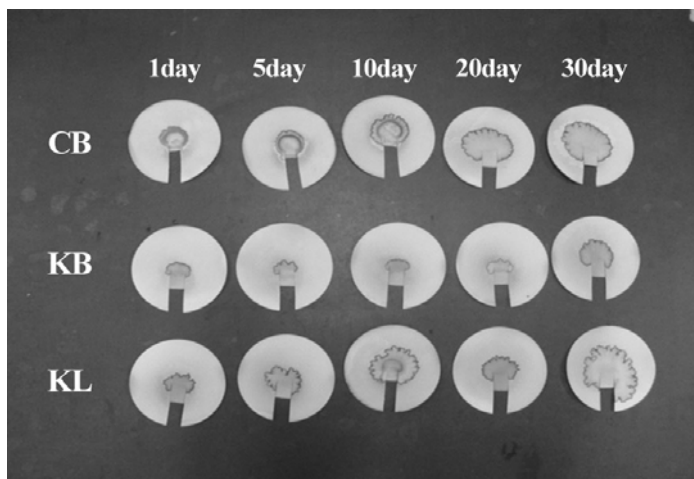
잔디초물을 이용한 호기적 정체식 퇴비화 시료의 물리화학적 조사결과를 비료공정규격(농진청고시 제2003-18호, 농업과학기술원 '비료의 품질검사 방법 및 시료채취 기준')과 비교하여 보면 유기물 함량이 CB는 40.7%, KB는 46.9%, KL는 44.8%로 공정규격 상에 제시된 주성분 최소량인 25% 이상이었으며, 유기물대 질소의 비가 50이하로 CB는 20.66, KB는 20.13, KL는 22.29를 나

타내었다.

그리고 퇴비의 염분함량은 0.3~0.6%로 1% 미만으로 공정규격에 적합하게 검출되었으며, 퇴비의 중금속 함량은 유해성분 규제기준에 미치지 못하는 안전한 수준이었다. 따라서 객관적으로 판단할 때 잔디초물을 이용한 퇴비화 시료는 부산물 비료 퇴비의 공정규격에 적합하였다. 최종 단계의 퇴비 품질을 비료공정규격과 비교하여 [Table 2]에서 제시하였다.

4. 결론

본 연구는 골프장에서 발생하는 잔디초물을 농업적인 유기자원으로 재활용하기 위하여 잔디의 종류에 따른 퇴비화 과정 중 이화학성을 조사하여 부속도를 평가하였다. 현재 잔디초물은 유기성 폐자원으로 유기비료 재원으로서의 가치가 높음에도 불구하고 현행법규상 사업장 폐기물로 분리되어 처리에 어려움이 있으며 잔디초물 퇴비화와 사용관리방안 등에 대해 뒷받침할 만한 자료가 미흡한 현실이다. 따라서 잔디의 종류에 따른 퇴비화 과정을 약 30일간 호기적정체식퇴비화장치에 진행하면서 시료를 채취하여 이화학성을 분석하여 부속도를 평가하였고 이에 대한 연구결과를 요약



[Fig. 10] Diagram of round paper chromatography for evaluation of the compost humus.

[Table2] A Quality Evaluation of Turfgrass Compost Compared With KSC

Items	KSC	Creeping bentgrass	Kentucky bluegrass	Korean lawngrass
O.M(g kg ⁻¹)	>250	407	469	448
T-N(g kg ⁻¹)		19.7	23.3	20.1
O.M/T-N	<50	20.6	20.1	22.2
Moisture(%)	<50	38	43	43
As(mg kg ⁻¹)	<50	ND*	ND	ND
Cd(mg kg ⁻¹)	<5	ND	ND	ND
Cr(mg kg ⁻¹)	<300	38	68	38
Hg(mg kg ⁻¹)	<2	ND	ND	ND
Cu(mg kg ⁻¹)	<300	38	68	72
Ni(mg kg ⁻¹)	<50	34	32	34
Pb(mg kg ⁻¹)	<150	ND	ND	ND
Zn(mg kg ⁻¹)	<900	127	295	363
NaCl(g kg ⁻¹)	<10	3	6	6

*ND : not detected

하면 다음과 같다.

- (1) Creeping bentgrass, Kentucky blue grass, Korean lawngrass 예초물을 퇴비화시킨 CB, KB, KL 처리구 모두 퇴비화 기간 동안 온도가 초기부터 급격히 상승하기 시작하여 5일 정도에 60°C 이상으로 증가하여 60°C~70°C의 고온기를 유지하였으며 7일째와 20일째에는 뒤집기 후 급격히 감소하는 경향을 보였다. 또 30일 전후하여 내부온도가 감소하였지만 퇴비가 더 안정화되기 위해서는 후숙 기간이 필요하다라고 판단된다.
- (2) pH는 모든 처리구에서 초기에는 감소를 하다가 퇴비화 3일째 급격히 증가하고 10일~20일 사이에는 다시 감소하는 경향을 나타내었다. 20일 이후에는 다시 증가하여 최종적으로는 약알칼리성에서 안정화되었다.
- (3) 퇴비화 과정 중 총탄소 함량은 감소하였으며 부피의 감소에 따른 용적밀도를 기준으로 계산되어진 총질소는 증가하는 결과를 보였다. C/N율은 초기와 최종C/N율의 비의 값이 CB, KB, KL 처리구가 각각 0.75, 0.84, 0.62를 나타내었다. 또 유기물이 부숙되어 나타나는

변화로 양이온치환용량(CEC)이 모든 처리구에서 증가하는 경향을 나타내었다.

- (4) 퇴비화의 부숙도 판정을 위한 원형여지크로 마토그래피에서도 완숙은 아니지만 부숙이 진행된 것을 확인할 수 있었고 식물독성실험에서 상추의 G.I값은 65.2~78.3으로 퇴비로 사용가능한 범위이나 완숙퇴비로 판단하기는 어렵다고 판단되며 옆에 강한 배추의 경우 G.I값이 77.7~98.7로 완숙에 가까운 수치를 나타내었다.

이와 같은 결과를 종합하여 볼 때 골프장 폐기물인 잔디예초물을 이용한 모든 처리구가 퇴비로서 적합하고 Korean lawngrass, Creeping bentgrass, Kentucky bluegrass 처리구 순으로 퇴비의 부숙이 잘 되었다. 이로써 골프장 폐기물인 잔디예초물을 재활용하여 자원의 효율적 이용과 폐기물의 발생을 감소할 수 있을 것이며, 잔디예초물 퇴비를 친환경 농자재로 활용하면 친환경농업에도 기여할 수 있을 것이다. 향후에는 양질의 퇴비를 생산하기 위한 잔디예초물의 혼합비율에 따른 퇴비화에 관한 더 많은 연구와 작물재배실증실험이 필요하다고 본다.

참고문헌

1. Inbar, Y., Y. Hadar and Y. Chen. 1993. Recycling of Cattle Manure: The composting Process and Characterization of Maturity. J. Environ. Qual., 22 pp. 857~863.
2. Morel, J. L., F. Colin, J. C. Germon, P. Goldin and C. Juste. Methods for the evaluation of the maturity of municipal refuse compost. In Composting of Agricultural and Other Wastes. J. K. R. Gasser. ed., Elsevier Applied Science Publishers pp. 56~72 (1985).
3. Nevi-Minzi, R. R. Riffaldi, and A. Saviozzi. 1986. Organic matter and nutrients in fresh and mature farmyard. Agricultural Wastes. 16 pp. 225~279.
4. Riffaldi, R. & Levi-Minzi. R. 1988. Chemical differences between fresh and composted municipal wastes. Agricultura Mediterranea 118, pp. 273~279.
5. Zucconi, F., M. Forte, A. Monaco, and M. de Bertoldi Biological evaluation of compost maturity. In Staff of Compost Science/Land Utilization(eds.). Composting theory and practice for city, industry and farm. JG Press, Emmaus, (1982).
6. 김두환. 양돈분뇨 자원화를 위한 석탄회 활용에 관한 연구. 대산논총. 6집 pp. 215~221 (1998).
7. 농촌진흥청 농업기술연구소 토양화학분석법 (2000).
8. 농촌진흥청, 토양화학분석법, (1989).
9. 박봉현. 발효퇴비 시용효과. 한국토양비료학회, p. 49 (1994).
10. 유영석. 공극개선제의 혼합비율에 따른 제지하수슬러지의 퇴비화과정 중 이화학적 변화. 석사학위논문. pp. 5~36 (1997).
11. 이종은, 홍주화, 장기운, 황준영. 목초액 처리가 돈분퇴비의 부숙도에 미치는 영향. 한국토양비료학회지. 38(2) pp. 101~107 (2005).
12. 장기운. 제지슬러지 퇴비화 연구. 한솔기술원. pp. 23~44 (1996).
13. 장기운. 부산물비료 종합관리 발표 자료집. 한국과학재단. p. 140. (1999~2000).
14. 장기운, 이인복, 임재신. 음식물찌꺼기를 이용한 퇴비의 부숙과정 중 이화학적 특성의 변화. 한국유기성폐자원학회지. 3(1), pp. 3~11 (1995).
15. 장기운, 윤종영. 로타리 교반식 퇴비화에 의한 왕겨축분퇴비의 이화학적 변화. 한국유기성폐자원학회 봄학술대회. pp. 26~37 (1999).
16. 조재영. 환경농학의 의의와 영역. 한국환경농학. pp. 79~84 (1984). 