



## 하수슬러지 퇴비화촉진을 위한 전자빔의 응용

강 호<sup>†</sup>, 신경숙, 정지현, Frank Schuchardt\*

충남대학교 환경공학과, Institute of Agricultural Technology and Biosystem Engineering\*  
(2010년 6월 7일 접수, 2010년 6월 23일 수정, 2010년 6월 24일 채택)

## Application of Electron Beam for Accelerating Composting of Sewage Sludge

Ho Kang<sup>†</sup>, Kyung-Sook Shin, Ji-Hyun Jeong, Frank Schuchardt\*

Chungnam National University, 220 GoongDong, Yuseong, Daejeon 305-764, Korea

Institute of Agricultural Technology and Biosystem Engineering, Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig, Germany\*

### ABSTRACT

A feasibility test for accelerating composting of sewage sludge irradiated with electron beam(3kGy) was investigated. Dried wood chip and leaves were used as a bulking agent and carbon source, respectively. The test variables included changes in temperature, organics and nutrients, and bioactivities from experimental and control composters. Results indicates that the temperature rose up to 60°C within 1 day and maintained high temperature above 50°C for more than 5 days in the irradiated sludge cake composter. It resulted in the fast degradation of organics during the initial 5 days, showing that approximately 70% of total amount of carbon degraded within 20 days was destroyed. It is likely that the composting of electron beam irradiated sludge cake is able to reduce it's maturing period significantly.

Keywords : Electron Beam Irradiation, Composting, Sludge Cake, Bioactivity, Organics, C/N Ratio

<sup>†</sup>Corresponding author : hokang@cnu.ac.kr

## 초 록

하수슬러지에 전자빔(3kGy)을 조사하여 퇴비화를 촉진하기 위한 타당성연구가 수행되었다. 전자빔을 조사한 하수슬러지 탈수케익에 수분조절 및 탄소공급원으로 건조한 나뭇잎을 첨가하고 목편을 혼합한 퇴비단과 전자빔을 조사하지 않은 퇴비단(Control) 과의 시간에 따른 온도변화, 유기물 및 영양염류변화 그리고 미생물 활동도 차이 등을 비교평가하였다. 그 결과 전자빔조사한 하수슬러지퇴비단은 1일 이내에 60°C 이상 온도가 상승하였고 Control 퇴비단에 비해 고온기간이 5일 이상 더 지속되었다. 또한 초기 5일 이내에 주발효기간 20일 동안 분해된 전체 유기물량의 70%가 분해되는 등 신속한 퇴비화가 진행되었으며, 퇴비화기간 내내 Control 퇴비단에 비해 DHAc-INT로 측정된 미생물 활동도가 높게 유지되어 전자빔 전처리에 의해 하수슬러지 탈수케익의 퇴비부숙이 신속하고, 효율적으로 이루어짐을 알 수 있었다.

핵심용어 : 전자빔조사, 퇴비화, 탈수케익, 팽화제, 유기물, 미생물활동도, C/N비

## 1. 서론

하수슬러지는 유기물질을 다량 함유하고 있고 함수율이 높아 취급이 곤란한 폐기물로 취급되고 있으나, 처리방법에 따라서 퇴비나 토지개량제, 건설자재 등 유용한 자원으로서의 재활용이 가능하다. 하수슬러지를 퇴비화하여 재활용하는 방안은 현재 도시하수처리장에서 발생하는 유기성오니의 경우 농촌진흥청 비료공정규격상<sup>1)</sup> “사전분석검토후 사용가능한 원료”로 분류되어 있기 때문에 생산퇴비가 비료로 유통되는데는 많은 어려움이 따르고 있다. 또한 슬러지를 포함한 유기성 폐기물의 퇴비화에 있어 가장 큰 문제가 되는 것 중 하나는 부숙퇴비를 생산하는데 60일 이상 장기간을 요구한다는 것이다. 따라서 향후 슬러지를 부숙시켜 퇴비 혹은 토지개량제 및 복토재로 사용하고자 할 경우 단기간에 슬러지를 효과적으로 부숙시킬 수 있는 기술이 뒷받침되어야만 한다. 반면 슬러지의 토지주입이 활발히 이루어지고 있는 외국의 경우는 퇴비를 효과적으로 살균하여 위생성을 높이고자 하는 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 슬러지의 살균을 위해 Irradiation Technology를 적용한 첫 번째 시도는 1973년 독일의 Geisebullach에 위치한 시설로서 Co<sup>60</sup>- $\gamma$ 선을 이용하여 2kGy의 선량으로 하루 270톤의 슬러지를 살균처리하여 토지에 직접 살포할 수 있도록 한 것이다<sup>2)</sup>. 또한 일본원자력연구소(JAERI)에

서는 탈수슬러지에  $\gamma$ 선과 전자빔을 조사하여 살균시킨 후 최적의 퇴비화조건을 맞추어 줄 경우 퇴비화시간을 2~3일까지 단축시킬 수 있는 연구결과를 발표한 바 있다<sup>3)</sup>. 국내에서는 탈수보조제 첨가가 하수슬러지 탈수케이크의 퇴비화 효율에 미치는 영향을 평가한 바 있으며 초목류와 하수슬러지의 퇴비화 연구를 통해 최종 제품의 품질이 부산물비료 퇴비공정규격에 적합함을 보였다<sup>4,5)</sup>. 따라서 본 연구에서는 하수 슬러지에 전자빔(3kGy)을 조사하여 세포파괴를 유도하고 이를 통해 퇴비화균에 의한 하수슬러지의 유기물분해도를 높혀 기존하수슬러지 퇴비화과정에서의 부숙기간을 단축시키는데 연구목적이 있다. 이를 정량화하기 위하여 전자빔을 조사한 하수슬러지 퇴비더미와 전자선을 조사하지 않은 하수슬러지 퇴비더미와의 시간에 따른 온도변화, 유기물 및 영양염류 변화 그리고 미생물활동도 차이 등을 비교 평가 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 실험재료

실험에 사용한 하수슬러지는 D하수종말처리장의 Belt Press로 탈수한 슬러지케이크이다. 탈수된 슬러지를 얇게 펴 두께를 3~4mm이하로 만든 후 그 표면에 3kGy의 전자빔을 조사하여 퇴비화 실험에 사용하였다. 하수슬러지는 함수율이 75%이상으로 매우 높

으며, 유기물함량은 적은 반면, 질소함량은 비교적 높아 C/N비가 매우 낮다. 따라서 원활한 퇴비화를 위해 하수슬러지에 적합한 수분조절 및 탄소원으로 나뭇잎을 선정하였다. 예비실험결과 나뭇잎의 탄소함량이 톱밥과 유사한 48%이었으며 C/N 비 역시 70 이상으로 높아 나뭇잎을 탄소원으로 선정하였다<sup>6)</sup>. 또한 퇴비더미내 산소의 원활한 공급을 위해서는 퇴비더미 내에 공극을 확보하여야 한다. 따라서 Bulking Agent로 목편(Wood Chip)을 일정량 첨가하였다. 본 실험에서 사용한 퇴비원료의 특성을 [Table 1]에 나타내었으며 퇴비화 각 원료의 혼합비는 [Table 2]에 제시한 바와 같다.

### 2.2 실험장치

[Fig. 1]에 나타낸 바와 같이 퇴비화반응조는 유효용적 50L 규모의 Plastic 재질로 하부에는 200L/m<sup>3</sup> · min의 공기주입을 위한 Air Compressor를 연결하였고, 퇴비단이 건조되는 것을 방지하기 위하여 Water Trap과 연결하여 수분을 충분히 함유한 습윤공기가 유입되도록 장치하였다. 반응조는 30~35℃가 유지되

는 Walk-in-Chamber내에 설치하여 외부온도에 의해 퇴비단의 온도가 하강하는 것을 방지하였다. 퇴비화 평가인자로는 퇴비더미내 온도, pH, Total Carbon(T-C), Total Nitrogen(T-N) 및 C/N비의 시간경과에 따른 변화 그리고 퇴비더미내 미생물 활동도(INT-DHAc Test)를 중점적으로 고찰하였다. 퇴비화진행에 따른 온도변화는 퇴비더미단의 각 부분에 설치한 온도계를 이용하여 측정하였으며, pH, T-C 및 T-N 농도변화는 토양화학분석법 및 비료분석법에 준하여 분석하였다<sup>7)</sup>.

한편, 전자빔 전처리한 탈수슬러지의 퇴비화 시 미생물의 Activity를 측정하기 위하여 미생물에 의해 유기물을 분해할 때 최종전자수용체로 INT(2-(p-iodophenyl)-3-(p-notro phenyl)-5-phenyl-tetrazolium chloride)를 사용하였으며 유기물의 산화와 INT의 환원이 동시에 일어날 때 생성되는 붉은색의 INT-Formazan(INTF)을 추출하여 흡광도 측정을 통해 퇴비단 내의 미생물의 활동도(Dehydrogenase Activity, DHA)를 측정하였다<sup>8)</sup>.

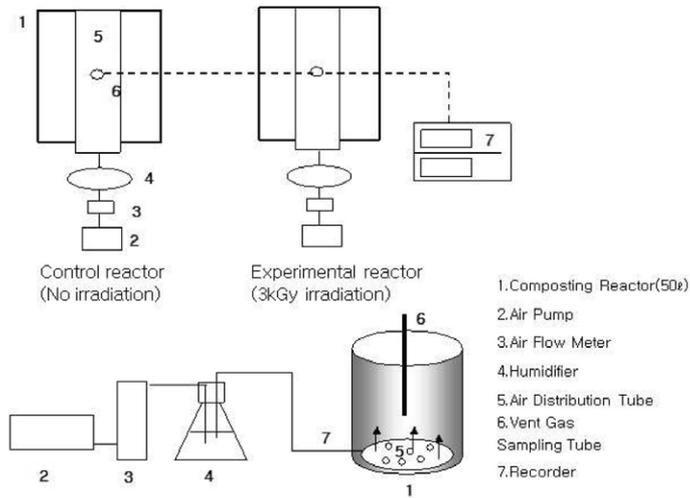
[Table 1] Chemical Properties of Raw Materials Used for Composting

Material \ Items	pH	Water Content (%)	T-C (%)	TKN (%)	C/N Ratio	Ash (%)
Sewage Sludge	7.2±0.2	78.5±2	24.2±2	2.1±0.5	11.5±3	11.5
Saw Dust	-	6.8±0.5	51.6±5	0.18±0.3	287±10	0.4
Leaf	5.7±0.2	8.0±1	47.9±5	0.68±0.3	70±4	6.5
Wood Chip	5.8±0.3	34.4±1	36.2±4	0.31±0.1	121±10	0.4
Mixture <sup>a)</sup>	7.5±0.5	73.4±3	33.8±2	1.3±0.5	26±2	4.5

<sup>a)</sup>Mixed with sewage sludge, Leaf and Wood Chip

[Table 2] Mixing Ratio and Water Content of Raw Materials

Materials	Water Content(%)	Mixed Volume(L)
Sewage Sludge	78.5	27
Dried Leaves	1.0	15
Wood Chip	34.5	8
Mixture	63.2	50



[Fig. 1] Schematic diagram of experimental composting reactor system.

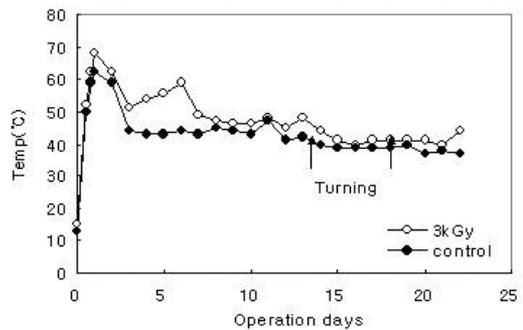
### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 시간에 따른 퇴비화반응기의 온도 변화

퇴비화의 성공여부는 퇴비더미의 온도가 충분히 상승되어있고 또한 어느정도 일정기간 유지되고 있는지에 따라 위생학적으로 안전한 퇴비의 생산과 퇴비 부속도가 결정된다. 또한 퇴비더미를 뒤집기(Turning) 하여도 더 이상 온도상승이 일어나지 않는 시기를 퇴비화 종료시기로 평가할 수 있다.

퇴비화 실험기간동안 퇴비단 내의 온도변화를 [Fig. 2]에 나타내었다. 전자빔을 조사하지 않은 탈수슬러지의 경우는 3일 부근에서 최고온도인 61℃를 나타내었으며 이후 점차 감소하여 40~45℃범위의 온도를 유지하는 것으로 나타났다. 전자빔을 조사하지 않은 퇴비단에 비해 온도상승율이 빠르고 고온단계가 일주일 이상 지속되었다 이는 하수슬러지에 전자빔을 조사하면 Cell Wall 이 파괴되어 세포내 유기물질이 용출됨에 따라 퇴비화균이 아주 쉽게 Uptake 및 분해가 가능하다. 그 결과 세포증식이 가속화되면서 Bioactivity가 월등히 증가하여 전자빔조사한 퇴비단의 유기물분해율이 상승하므로 Control 에 비해 온도가 높고 길게 유지됨을 알수 있다.

또한 원활한 퇴비화를 위해 12일과 18일 두차례에



[Fig. 2] Temporal variation of temperature during the composting of unirradiated(control) and irradiated(3kGy) sewage sludge.

걸친 뒤집기를 실시한 결과 두 퇴비단 모두 뒤집기 실시 후 온도가 소폭 증가하였으나 그 변동폭은 크지 않아 활발한 유기물의 분해는 전단계에서 어느정도 종료되었음을 알 수 있었다<sup>9)</sup>.

#### 3.2 퇴비화진행에 따른 pH 및 함수율의 변화

본 연구에서 사용한 하수슬러지와 건조한 나뭇잎은 중성 pH이나 퇴비화과정 중에 생성되는 중간대사물들의 영향으로 pH가 변할수도 있다. [Fig. 3]에 나타낸 바와 같이 초기 pH는 7.3~8.0이었으나 퇴비화가

고온단계로 접어든 2일 이후에는 pH가 급격히 증가하는 양상을 보이다가 점차 낮아져 전자빔을 조사한 경우는 pH 약 8.2, 전자빔을 조사하지 않은 퇴비단의 경우는 pH 6.7로 일정하게 유지되었다. 특히 전자빔을 조사한 퇴비단의 고온단계에서 pH가 9이상까지 증가하는 현상을 보이고 있는데 이는 유기 질소가 고온혐기산화과정에서 암모니아로 산화되어 pH 상승의 요인으로 작용하였다. 유기 인 또한 고온호기산화과정에서 무기 인의 형태로 산화되고 탄소원인 나뭇잎의 최종산화후 남는 Ash 성분 등이 퇴비단내에서 Buffer 역할을 하였기때문인 것으로 사료된다.

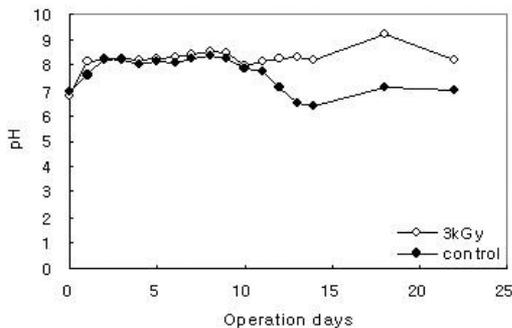
한편, 퇴비화원료의 수분조건은 퇴비화의 효율에 큰 영향을 미칠 뿐 아니라, 퇴비화과정중에서 송풍과 공극, 퇴비더미의 형태, 발생하는 열, 기후 등과 밀접한 관계를 맺으며 변화한다. 수분이 과다한 경우는 Free Air Space가 적어 산소전달이 어려우므로 호기상태의 분해가 아닌 혐기성상태가 되어 악취 유발물질 및 유해성분들이 생성될 수 있으며, 반대로 수분함량이 적은 경우는 미생물의 활동이 현저히 저하되며 또한 수분함량이 낮은 경우 수분증발에 의한 열의 제거효율이 낮아 퇴비단의 과도한 온도상승의 원인이 되는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 초기 수분함량을 65~67%로 일반적으로 알려진 적정함수율 60%보다 다소 높게 시작하였다. [Fig. 4]에 나타낸 바와 같이 수분함량은 두 퇴비단 모두 퇴비화 후반기로 갈수록 다소 감소하는 경향을 나타내고 있으나 그 변화폭은 매우 미미하였다. 전자빔을 조사한 슬러지퇴비단의

경우 퇴비화 초기에는 다소 높게 유지되었으나 발생한 열로 인해 수분이 증발되면서 고온단계가 끝나는 10일 이후부터 함수율이 5%가량 감소하는 것으로 나타났다.

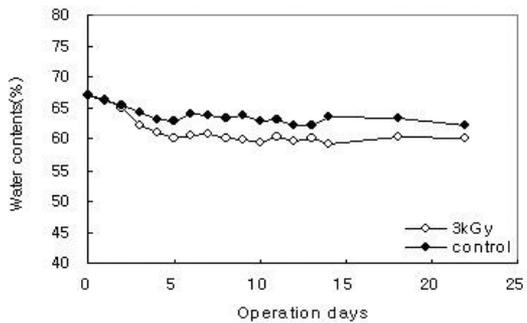
### 3.3 총탄소(T-C) 및 총질소함량(T-N)의 변화

탄소는 미생물의 에너지원이며, 질소는 영양원으로 사용되기 때문에 퇴비화에 있어서 C/N비는 매우 중요한 인자이다. C/N 비는 퇴비화에서 속성도를 평가하는 인자로 사용되며 이 값이 0.75 이하의 값을 가지면 퇴비화 속성이 제대로 이루어졌다고 보며 퇴비화 일수가 120일 까지는 0.75이하, 240일 까지는 0.75이하, 240일 까지는 0.55이하이면 퇴비화가 완료되었다고 보고한 바 있다<sup>9)</sup>. 그러나 탄소들은 각기 분해 특성이 다르기 때문에 이러한 수치들이 퇴비원료에 대하여 일률적으로 적용하는데는 다소 무리가 있다. 본 연구에서 사용한 건조시킨 나뭇잎의 경우는 대체로 분해가 용이한 탄소로 구성되어 있으므로 C/N비는 일반적인 범위에서 고려할 수 있다.

[Fig. 5]에 두 퇴비단에서의 유기물변화양상을 나타내었다. 두 퇴비원료의 초기 총탄소(T-C)는 전자빔을 조사한 경우 31.7%로 나타나 전자빔을 조사하지 않은 슬러지퇴비단의 28%에 비해 높게 나타났다. 전자빔을 조사한 퇴비단의 경우는 퇴비단 온도가 급격히 상승한 2~4일 사이에 T-C가 14%까지 급격히 감소하여 이 기간동안 미생물에 의한 분해가 매우 활발히 진행되었음을 보여주었으며, 이후부터는 서서히 감소하



[Fig. 3] Temporal variation of pH during the composting of unirradiated(control) and irradiated(3kGy) sewage sludge.



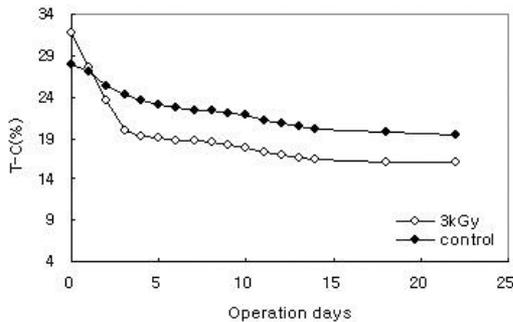
[Fig. 4] Temporal variation of water content during the composting of unirradiated (control) and irradiated(3kGy) sewage sludge.

는 경향을 나타내었다. 전자빔을 조사한 슬러지의 경우가 조사하지 않은 경우에 비해 매우 빨리 5일 이내에 20일간 분해된 총 유기물의 70% 가량이 분해되는 것으로 나타났으며, 반면 전자빔을 처리하지 않은 반응조의 경우는 12일까지 서서히 감소하다가 이후에는 분해속도가 더욱 떨어지는 양상을 보여 유기물분해측면에서 볼 때 전자빔 처리를 할 경우 하수슬러지의 퇴비화 속도를 증진시킬 수 있는 것으로 나타났다.

퇴비화과정 중 질소는 퇴비더미의 일부가 산소전달이 제한되어 혐기상태로 될 경우 암모니아가스형태로 대기중에 방출되므로 감소하는 경향을 나타내는 것이 일반적이지만, 유기물의 무기화(Mineralization)가 진행됨에 따라 질소성분은 증가하게 되며, 질소의 증가는 탄소성분의 감소와 밀접한 관계가 있다<sup>10)</sup>. 본 연구에서 퇴비화과정중의 총질소(TN)농도의 변화는 [Fig. 6]에 나타난 바와 같이 퇴비화초기에는 거의 변화가 없었으나 고온단계 내지는 중온단계초기, 즉 4일에서 7일 부근에서 급격히 증가하는 양상을 나타내었으며 증가폭은 전자빔을 조사한 퇴비단의 경우가 보다 크게 나타났다. 이와 같은 결과는 하수슬러지와 제지슬러지를 혼합처리한 劉 등의 연구결과와 일치하며<sup>11)</sup>, 퇴비에 상대적으로 많은 질소가 축적된다는 것은 생성 퇴비를 토양에 사용시 작물에 의해 이용될 수 있기 때문에 바람직한 결과라 사료된다.

### 3.4 슬러지 부속물질의 안정성평가

사전분석검토 후 사용가능한 부산물 비료의 원료로

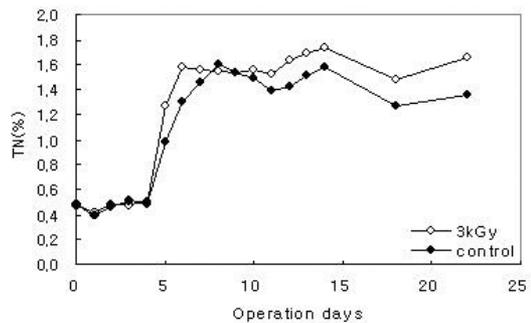


[Fig. 5] Temporal variation of T-C content during the composting of unirradiated(control) and irradiated(3kGy) sewage sludge.

구분되어 있는 슬러지를 퇴비화할 경우 농경지에 퇴비로 사용되기 위해서는 유기물함량이 25%이상, C/N 비가 50이하이어야 하며, 중금속함량이 규제치를 초과하지 않아야 한다<sup>12)</sup>. 30일 이내의 주 부속과정을 거친 후 생산된 퇴비의 성상은 [Table 3]에 나타난 바와 같이 슬러지에 전자빔을 조사한 슬러지 퇴비단은 초기 유기물함량이 전자빔처리하지 않은 퇴비단에 비해 4% 가량 높게 시작되었음에도 불구하고 20일 부속 후 퇴비내 유기물함량은 16.2%로 전자빔 처리하지 않은 경우의 19.5%에 비해 낮게 나타났다.

이는 슬러지에 전자빔 조사 즉시 Leachate가 형성되는 현상을 통해 슬러지내의 가용유기물이 Cell 파괴를 통해 용출되었을 가능성을 예측할 수 있으며, 이로 인해 퇴비화 전에 슬러지의 산화가 이미 진행되었고 또한 퇴비화 초반에 유기물의 활발한 분해가 이루어짐에 따라 고온기간이 길게 유지되어 전자빔 처리한 슬러지 퇴비단의 유기물함량이 낮아진 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서 사용한 탈수슬러지는 혐기조를 거쳐 안정화된 것으로 유기물함량이 높지 않으므로 부속산물의 유기물함량이 부산물비료로 사용되기 위해 함유해야 할 최소 유기물함량 25%에 비해 상당히 낮으므로 퇴비로서의 효용성은 크지 않을 것으로 보이며, 퇴비로 활용하고자 할 경우는 수분조절 및 탄소원으로 혼합하는 첨가물질의 양을 증가시켜야 할 것으로 보인다.

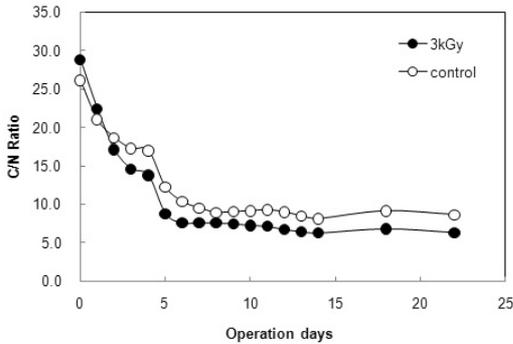
한편, 부속산물의 안정성을 평가하는 중요한 지표인



[Fig. 6] Temporal variation of TN content during the composting of unirradiated(control) and irradiated(3kGy) sewage sludge.

[Table 3] The Quality of Final Compost from Irradiated Sewage Sludge

Item	Re-gulation	Compost from irradiate sludge	Compost from unirradiated sludge
Organic content(%)	>25	16.2	19.5
C/N ratio	<50	5	6.5
Pb(mg/kg)	<150	48.2	46.2
Cd(mg/kg)	<5	1.65	1.32
Cu(mg/kg)	<500	16.7	18.7
Cr(mg/kg)	<300	5.9	5.4
As(mg/kg)	<50	16.7	15.8
Hg(mg/kg)	<2	2.6	2.5



[Fig. 7] Temporal variation of C/N ratio during the composting of sewage sludge mixed with leaf.

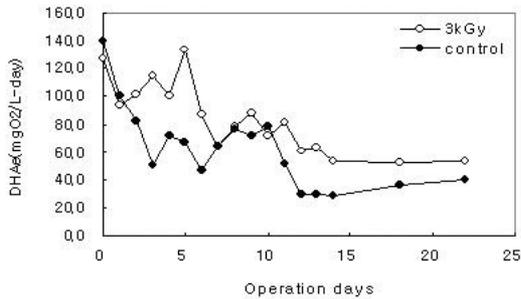
C/N비는 [Fig. 7]에 나타난 바와 같이 기준치인 50보다 현저히 낮아 큰 문제는 없을 것으로 보인다. 한편, 부산물퇴비 내 유해성분으로 규제되고 있는 비소, 카드뮴, 수은, 납, 크롬, 구리등의 함량을 평가한 결과, 수은을 제외한 전 항목이 규제치를 크게 밑돌았으나, 수은은 규제치인 2mg/kg을 다소 상회하는 것으로 나타났다. 국내 16개 하수종말처리장 탈수슬러지의 중금속함량을 측정한 결과에서도 수은 및 구리함량이 규제치 이상으로 검출된 바 있다<sup>12)</sup>. 따라서 퇴비 내 중금속함량은 퇴비화방법을 어떻게 하느냐에 따라 좌우되는데 단순히 슬러지만 퇴비화할 경우 퇴비화를

통해 1/2의 감량화를 달성한다면 퇴비내 중금속은 2배 농축될 것이나, 수분조절제로 톱밥등과 같은 물질을 첨가할 경우 이들에 의해 희석되는 효과를 얻을 수 있다.

이상의 결과를 종합하면, 전자빔조사를 통해 유기물을 단시간내에 감소시키는 긍정적인 효과가 있으나, 최종 부숙생성물 내 유기물함량이 낮기 때문에 비료로써의 가치는 저하될 것으로 보인다. 또한 부숙물 내 C/N비와 수은을 제외한 유해물질함량이 규제치를 크게 밑돈다는 점을 감안할 때 슬러지에 전자빔을 조사하여 유기물을 단시간내에 분해시켜 안정화한 후 토지개량제 및 복토제등으로 활용할 경우 기존의 슬러지 퇴비화공정에 걸리는 시간을 크게 단축하여 슬러지 최종처분의 효과적인 대안으로 활용될 수 있을 것으로 보인다.

### 3.5 전자빔조사에 따른 퇴비반응조의 미생물 활동도 변화

INTF(INT Formazan)추출 분석을 통해 전자빔을 조사한 슬러지 실험구와 미처리 슬러지 실험구의 퇴비화진행에 따른 반응조 내 미생물의 Activity를 측정하였다. [Fig. 8]에 나타난 바와 같이 퇴비화시작시점에서는 전자빔 처리하지 않은 슬러지실험구



[Fig. 8] Temporal variation of INT-Activity during the composting of unirradiated and irradiated(3kGy) sewage sludge.

(Control)의 값이 처리구에 비해 높게 나타났는데, 이는 슬러지에 전자빔을 조사함에 따라 병원균 뿐만 아니라 퇴비화에 참여하는 미생물들도 사멸되어 퇴비화가 본격적으로 진행되면서 전자빔에 의해 가용화된 유기물의 효과적인 섭취 및 분해가 일어나 Bioactivity의 증가를 가져온 것임을 알 수 있다. 한편 일본 원자력연구소의 연구결과에 따르면 슬러지에 전자빔을 조사하면 Salmonella와 같은 병원균뿐 아니라 중온균도 다수가 사멸하므로, 숙성퇴비를 일정량 Seeding하여 충분한 Biomass가 존재하도록 할 경우 40~50℃하에서 2~3일 내에 완벽한 퇴비화를 이룰 수 있다고 밝힌 바 있다.

하수슬러지에 전자빔을 조사함에 따라 미생물의 활동도 변화를 평가하기 위하여 1~10kGy범위에서 전자선을 조사하고 조사즉시 탈수소효소활성(Dehydrogenase Activity)을 측정해 본 결과, 조사선량이 증가함에 따라 탈수소효소활성은 급격히 감소하지만 6kGy미만의 조사선량에서는 미처리시의 약 20%에 해당하는 활동도를 여전히 나타내었다. 이러한 결과로부터 전자빔조사 후 별도로 식중을 하지 않았음에도 불구하고, 초반 지체시기인 3일 이후부터는 미생물의 활동도가 높게 유지할 수 있었던 것으로 보인다. 따라서 전자빔 조사 후 외부 미생물원의 첨가 없이도 빠른 시간내에 효과적으로 퇴비화를 유도할 수 있으며, 외부에서 활동도가 높은 미생물원을 첨가할 경우 보다 빠른 시간내에 양질의 퇴비를 생산할 수 있을 것으로 보인다.

#### 4. 결론

하수슬러지 탈수케익에 3kGy의 전자빔을 조사하여 슬러지내 유기물의 분해율을 높이고 병원균등을 사멸시켜 퇴비화속도를 증진시키고자 실험실 규모의 퇴비화반응기를 운전하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 탄소원으로 나뭇잎, 통기개량제로 목편을 혼합하여 퇴비화를 진행한 결과, 전자빔을 조사한 탈수케익 퇴비단은 1일 이내에 60℃이상 온도가 상승하였으며, 전자빔을 조사하지 않은 슬러지 퇴비단에 비해 고온기간이 5일 가량 더 지속되는 것으로 나타났다.
2. 퇴비화진행에 따른 유기물의 분해율은 전자빔조사 반응조의 경우 초기분해가 매우 빨라 5일 이내에 20일간 분해된 총 유기물(T-C)의 70% 가량이 분해되는 것으로 나타났고, 초기 C/N비가 29였던 것이 20일 이후에는 5까지 감소하는 등 안정화되었으나, 슬러지내 유기물의 활발한 분해로 인해 유기물함량이 감소함에 따라 C/N비가 퇴비기준인 25이상을 훨씬 밑도는 등 퇴비로서의 효용성은 떨어질 것으로 보이며, 토지개량제나 복토제로 이용하는 것이 바람직하다고 사료된다.
3. DHAe-INT를 통하여 평가한 퇴비반응조내 미생물의 활동도는 전자빔 조사로 인해 초기에는 전자빔을 조사하지 않은 퇴비단에 비해 다소 낮았으나, 고온기에서 중온기로 접어드는 시점부터는 현저히 높은 Activity를 유지하는 것으로 나타나, 외부로부터의 식중없이도 퇴비화가 원활히 일어남을 보여주었으며, 전자빔처리 후 양질의 퇴비를 식중하여 퇴비화할 경우 부숙기간을 상당히 단축시킬 수 있을 것으로 보인다.

#### 사사

본 연구는 2008년도 충남대학교 학술연구비에 의해 지원되었으며, 이에 감사드립니다.

**참고문헌**

1. 농촌진흥청, 비료공정규격 (2009).
2. Lessel, T and Suess, A., "Ten year experience in operation of sewage sludge treatment plant using gamma irradiation", Radiat. Phys. Chem., 24, pp. 13~16 (1984).
3. JAERI, "Sludge pasteurization and upgrading by irradiation-bilateral research cooperation between OAEF and JAERI", Department of radiation research for environment and Resources (1995).
4. 이관형, 강 호, 이현규, 이영은, 이면주, "전자선조사 및 탈수보조제 첨가유무에 따른 하수슬러지 탈수 케이크의 퇴비화 효율평가", 대한환경공학회 2005 춘계학술연구발표회, pp. 1342~1349 (2005).
5. 류지훈, 이종진, 홍주화, 장기문, 이규승, 박관수, 한기필, "담부유물 톱밥과 하수슬러지를 이용한 퇴비화 연구", 유기물자원화, 18(1), pp. 98~103 (2010).
6. 신경숙, "하수슬러지의 효율적인 처리를 위한 전자빔 응용", 박사학위논문, 충남대학교 (2003).
7. 농촌진흥청, 토양화학분석 (1989).
8. Kang, H., "Biological flocculation of microalgae", p.H.D. Dissertation, Universtiy of Florida (1987).
9. Jemenez, E. I and Gracia, V. P., "Evaluation of city refuse compost maturity, A review", Biological waste, 27, pp. 115~142 (1989).
10. Bertoldi, M. G., Vallini, A. P. and Zucconi, P., "Composting of three windrow compost system", Biocycle, 23(2), pp. 45~50 (1982).
11. 유영석, 정기운, "공극개선제의 혼합비율에 따른 제지·하수슬러지의 퇴비화과정 중 이화학성 변화", 폐기물자원화, 6(2), pp. 45~57 (1998).
12. 박주석, 이경희, 배재근, 최종오, "하수오니의 성상 분석에 의한 퇴비화 가능성검토", 대한환경공학회 1995 춘계학술대회, pp. 558~561 (1995). 