



1톤/일 처리규모의 하수슬러지 퇴비화 실증운전

정경철, 곽노혁, 박성희, 배재근*

현대건설(주) 기술연구소, 서울산업대학교 환경공학과*
(2000년 4월 28일 접수, 2000년 5월 22일 채택)

Operation of Sewage Sludge Composting Plant(Capacity of 1 ton/day)

Kyong-Chul Joung, No-Hyuk Kwak, Sung-Hee Park, Jae-Kuen Phae*

Hyundai Institute of Construction Technology
Dep. of Environmental Engineering, Seoul National Poly Tech University*

ABSTRACT

Aim to get operation factors, an In-vessel Composting of Wastewater Sludge was operated. The composting equipment was consisted of three chamber, 1st, 2nd and 3rd consequently. In the results, the temperature of fermentation had shown that 1st fermentation chamber(F/C) temperature was higher than that of 2nd and 3rd fermentation chamber. The temperature was steady in all steps during the sludge being composted, the ranges of each step were 50°-59°C of 1st F/C, 41°-50°C of 2nd F/C, and 32°-37°C of 3rd F/C. Organic material content of the end product was 28% and that of pH was 7.5. Properties of the compost which have been composted on optimized condition, were shown that is acceptable to use as a fertilizer. Even in the winter time, the composting system was working well without any trouble. According to result of investigation, the end-product of the system was satisfied with the standard for a fertilizer usage. HRT(hydraulic retention time) of entire process was appropriated to be 14 days(0.9 days at drying and 3.5, 4.4, 5.2 days at each step of fermentations, respectively)

Key Words : Sewage sludge, Compost, Fermentation

초 록

연속운전을 실시한 결과 전반적으로 발효 1단에서 발효 2단보다 온도가 높은 경향을 보여주었고 운전기간동안 발효 1단 50~58.6°C, 발효 2단 40.7~49.7°C, 발효 3단의 경우 32.4~37.1°C로 온도가 거의 일정하게 유지되는 경향을 나타냈으며, 유기물함량, 함수율의 경우에 있어서도 유사한 결과를 나타내어 안정적으로 퇴비화 반응이 진행됨을 확인할 수 있었다. 생산된 퇴비의 품질을 분석한 결과, 유기물은 서서히 과정별로 분해되어 최종퇴비에서 28%를 유지했으며 pH는 잘 부숙된 퇴비에서 관찰되는 것과 같이 약알카리성을 나타냈고 생산된 퇴비의 품질에 있어 중요한 인자인 생성 퇴비내의 중금속함량은 모두 규제값 이내인 것을 확인 할 수 있었다. 결론적으로 입형다단 방식의 퇴비화 장치를 이용하여 정상운전을 실시한 결과 체류시간 14일 이내에 퇴비가 생성되었고, 퇴비의 성상 또한 부산물비료규격의 규제치를 모두 만족하는 것으로 나타났으며 동절기에도 불구하고 안정적인 퇴비화가 가능한 것으로 나타났다.

주제어 : 하수슬러지, 퇴비화, 발효1.2 g/l 로 높은 성장율을 얻었다.

1. 서론

하수슬러지는 1998년말 현재 연간 150만톤이 발생되고 있으며 하수처리장의 전국적 확대 보급과 함께 2001년에 212만톤, 2006년에는 285만톤이 발생될 것으로 예상되고 있다. 그러나 발생된 슬러지는 지금까지 단순매립에만 전적으로 의존하고 있으며, 최근 들어 매립지난의 가중으로 해양투기의 비율도 늘어나고 있으나 환경보호를 생각하지 않은 미봉책이라고 볼 수 있다. 발생된 하수 슬러지는 대부분 유기물로 이루어져 있어 재활용의 가능성을 가지고 있었지만 여러 선진국들과는 달리 기술적으로나 환경 정책적으로 뒷받침이 되지 못하여 국내 슬러지 재활용 수준은 미미한 수준에 머물러 있다. 따라서 본 연구로 일궈낸 슬러지 퇴비화 기술은 폐기물의 재활용이란 측면과 매립 및 기타의 처리방법으로 발생하였던 2차적 환경오염의 예방이라는 측면에서 중요성을 가지고 있다. 또한 부산물 퇴비를 산림 및 농가용으로 보급할 수 있어 유기농법의 확산과 함께 토양의 물리성도 개선할 수 있는 부가 효과도 기대할 수 있어 바람직한 폐기물 재활용의 모범이 될 수 있겠다. 본고는 G7환경공학 기술개발사업(국립환경연구원 주관)의 일환으로 수행한 “유기성폐기물 퇴비화기술 개발” 과제와 관련하여 1톤/일 규모 퇴비화 장치를 이용한 하수슬러지 퇴비화 현장실험에 관련한 내용을 정리한 것이다.

2. 재료 및 방법

현재 외국의 경우 통기 및 혼합방식에 따라 퇴적, 입형원통, 입형다단, 횡형교반 및 원형교반방식의 퇴비화장치가 개발되어 있으며 일부 장치가 상용화에 성공하고 있는 상태이다. 그러나, 현재 우리나라는 퇴비화를 통한 슬러지의 활용에 대한 관심 및 기술개발이 미미하게 이루어지고 있으며 플랜트화 기술이 축적되어 있지 않아서 퇴비화 장치의 실용화에 많은 어려움을 겪고 있는 상황이다. 우리 실정에 맞는 도시 하수슬러지 퇴비화는 적은 부지 면적 내에서 효율적으로 감량이 이루어져야 하며 생성된 퇴비가 가능한 유효이용되어야 한다는 두가지 목적에 부합되어야 한다. 이에 따라 본 연구에서는 상기의 목적에 부응하는 퇴비화 장치의 실용화를 위한 전 단계로서 1톤/일 처리용량의

실규모 퇴비화 장치를 설계·제작하여 운전하였다.

2.1. 퇴비화 장치의 구성 및 공정

(1) 케익 저장호퍼

원료의 일시 저장 및 건조단 투입호퍼는 1일 처리용량을 저류할 수 있는 기능으로 하였으며 상부에 인입스크류가 설치되어 있고 재질은 부식을 방지하기 위하여 SUS 304 재질로 하였다. 호퍼에서 물질이 효율적으로 하단으로 이송되게 하기 위하여 하부에 교반자를 설치하고 그 하단에는 건조단으로 물질을 이송하는 스크류를 설치하였으며 공기실린더를 이용하여 일정량의 케익이 건조단으로 투입될 수 있도록 설치하였다.

(2) 건조단

호퍼에서 건조단으로 물질이 공급되면 내부 교반자에 의하여 물질의 이송 및 교반이 되면서 건조단 원통의 외부에 장착된 히터를 이용하여 건조되게 하였다. 건조단의 효율적인 수분의 제거를 위하여 내부옹축이 이루어지지 않도록 제어하였으며 외부로 수분을 제거하기 위하여 Ring Blower를 설치하였다. 또한 건조단에서 건조된 건조물이 발효단으로 이송되게 하기 위하여 하단에 유압피스톤을 설치하여 혼합호퍼로 정량 투입이 될 수 있도록 하였다.

(3) 건조, 반송퇴비 혼합기

혼합기의 기능은 건조되어 넘어온 물질과 제품으로 생성되어 반송되는 퇴비를 적절하게 혼합하여 발효단으로 보내는 역할을 하며 발효단으로 넘어갈 때까지 저류하는 기능도 갖는다. 유압피스톤에 의해 배출된 케익은 다공판을 통과하면서 일정한 크기로 잘라지고 혼합과 교반을 통해 수분조정이 이루어진다.

(4) 발효단 이송컨베이어 및 호퍼

혼합기에서 균일하게 혼합된 건조케익과 반송퇴비가 플랜트의 상부에 위치하고 있는 발효단으로 이송되기 위해 기존에는 스크류를 사용하였는데 스크류의 총 연장이 8m가 되는 관계로 물질의 상태에 따라 막힘 현상이 일어나 이송에 많은 어려움이 있어 이 부분을 Flight Conveyor Belt로 교체하여 이송을 하였고 이송된 케익을 발효단으로 투입하기 위해 작은 크기로 분쇄가 가능한 Paddle 형태의 혼합기를 설치하였다.

5) 발효단

발효단은 성능여부에 따라 퇴비화가 좌우되게 되므로 본 연구에 있어서 가장 중요한 설계 단계이다. 설계에서 선정된 발효단은 회전원통형이며 간헐적으로 회전이 될 수 있도록 위치센서와 타이머에 의하여 가동과 정지가 되도록 하였다. 발효단은 같은 크기의 원통이 3단으로 구성되어 있으며 각단과 각단사이에 물질의 정량공급이 가능하도록 배출의 끝단에 격막을 설치하여 격막을 넘어온 일정량만이 하부의 발효단으로 떨어지게 하였다. 각 발효단의 배출구에 에어실린더에 의하여 작동되는 개폐문을 설치하였으며 또한 발효단내에서 물질이 이동하여 배출지점으로 와야 하기 때문에 발효단 내부의 원통에는 이송을 위한 경사판을 5° 정도의 경사를 주어 설치하였으며 이송량은 1일 회전원통의 회전주기와 격판의 높이 조절에 의하여 조절이 가능하도록 하였다. 발효단의 용량은 2.5m³로 설계되었으며 각 발효단을 1개씩의 모터를 부착시켜 회전량을 조절할 수 있도록 하였다.

(6) 퇴비반송 장치

본 설계에서는 하수슬러지 원료가 건조단에서 건조되어 발효단계로 이송되기 전에 발효조 3단에서 배출된 생성물을 스크린에 의해서 5mm 이상의 입자를 걸러내 파쇄기를 통과시켜 미분쇄되게 하였으며 분쇄물이 반송퇴비와 혼합되어 발효1단으로 들어가게 하였다. 반송퇴비의 양은 스크린과 분쇄기 하단에 설치된 이중 분류장치에 의하여 조절되도록 하였다.

(7) 냉각장치

냉각장치는 건조단의 순환공기에 포함된 습기를 제거하기 위해 Fan과 편형 열교환기를 설치하여 공냉과 수냉방식을 병합, 원활한 응축이 발생하도록 하였으며 이 냉각장치를 거친후 발생한 응축수는 응축수 배출장치를 통해 일정량이 차면 자동으로 배출되게 하였다.

(8) 통기장치

본 장치의 형태가 다단원통형이므로 다른 형태의 퇴비화장치에 비교하여 뒤집기가 원활하게 이루어지고, 공기의 공급이 원활하다는 관점에서 배풍기를 사용했다. 즉 각 단에 Ring Blower를 설치하여 반응기 내부의 가스를 흡인 및 배기되게 하였으며 반응기 우측의 축에 공기 유입구를 두어 새로운 공기가 공급되게 하였다.

(9) 기타설비

상기에서 서술된 각종 설비 외에도 본 퇴비화장치의 효율적인 가동을 위해서는 저류호퍼의 개폐, 발효단의 각단의 배출구의 개폐를 위하여 에어실린더를 설치하였으며 이를 위하여 컴프레서를 구비하였다.

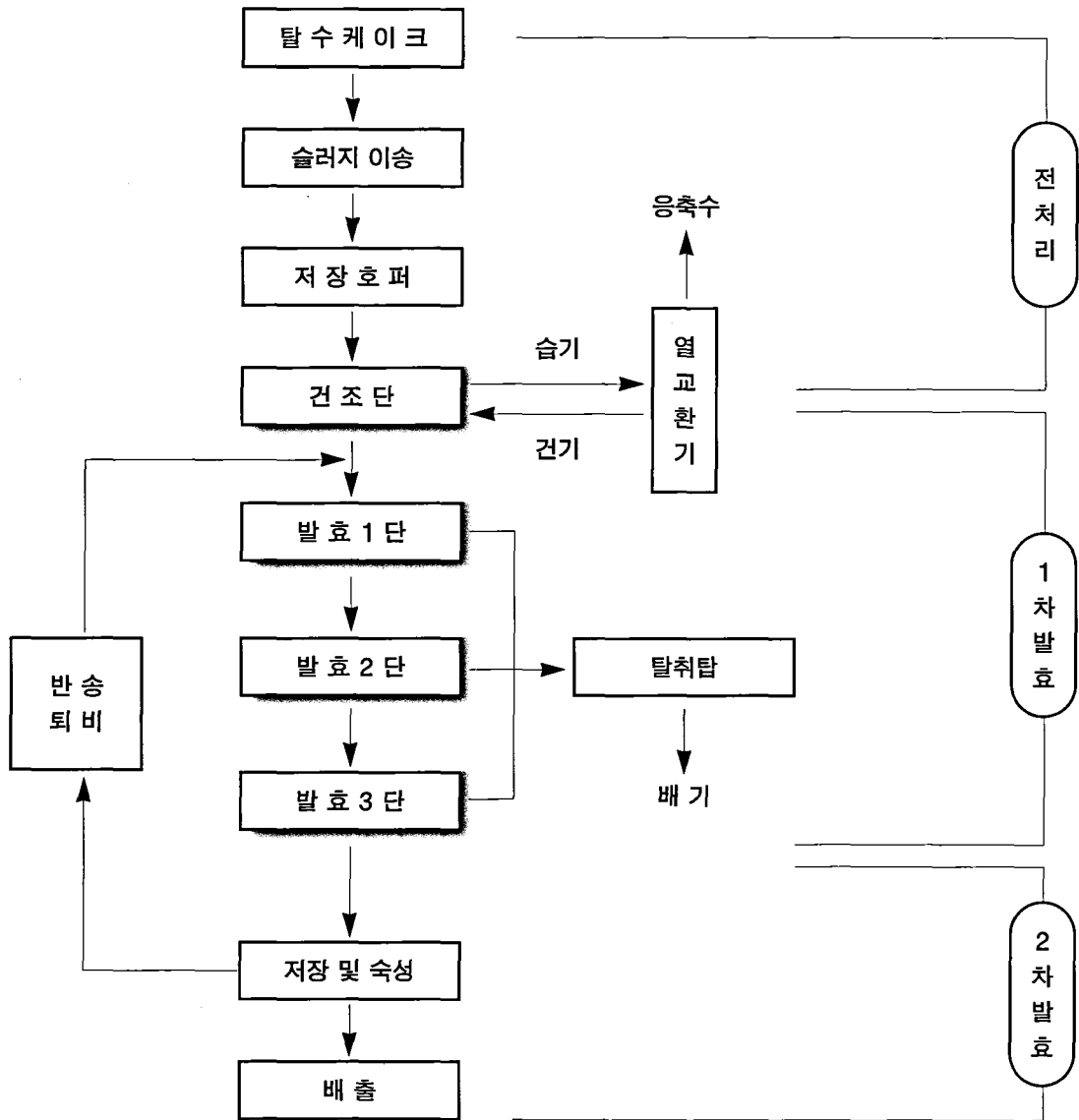
2.2 실규모 장치의 운전

2.2.1 운전 방법

실험에 이용된 장치의 재질은 내부식성을 가진 SUS로 하였고 건조단은 $\varnothing 700 \times 2,500L$ 의 크기이며, 발효단은 $\varnothing 950 \times 3,600L$ 의 크기로 3단으로 이루어져 있다. 정상상태에서 일처리용량 1톤으로 설계·제작되었으며, 반응기의 외부는 적정온도 유지를 위하여 건조단은 히터를 발효단은 열선배선 및 단열을 실시 동절기에도 이상 없이 사용할 수 있도록 하였고 각단은 온도제어가 가능하도록 하였다. 장치의 운전은 슬러지를 호퍼내에 저장시키고, 처리용량에 따라 호퍼에 부착된 정량공급장치에 의하여 간헐적으로 건조기내로 공급되게 하였으며 건조기의 건조효율을 검토하기 위하여 온도와 공기량을 변화시켜 운전하였다. 건조기에서 배출된 건조슬러지는 반송퇴비와 혼합조에서 혼합을 하여 발효1단으로 공급하였으며, 자연적인 흐름에 의하여 2, 3단을 거쳐, 최종적으로 배출되게 하고 배출분의 일부분을 반송시키고, 나머지는 퇴비생성물로서 호퍼에 저장시키면서 부숙시켰다. 발효 온도를 주요 지표로 측정하였으며, 공기량 등을 변화시켜 가면서 퇴비화의 정도 및 최적조건을 검토하였다.

2.2.2 각종 분석방법

퇴비화 과정중에 물성의 변화를 관찰하기 위하여 수분함량과 휘발성 고형물질을 공정시험법에 따라 측정하였다. 기타 항목은 용출한 시료를 이용하여 분석을 실시하였는데 이때 실시한 용출 실험조작은 다음과 같다. 증류수에 염산을 넣어 pH를 5.8~6.3으로 한 증류수에 시료와 용매를 1/10 (W/V)의 비율로 혼합하고 상온 상압하에서 진탕횟수가 200rpm이상으로 수분간진탕기(Model SH-WA)를 사용하여 용출한 후, pHmeter(Model DP-135M)를 이용하여 pH를, 그리고 일반항목등은 Standard method에 의해 측정하였다.



[Fig 1] 퇴비화장치 공정도

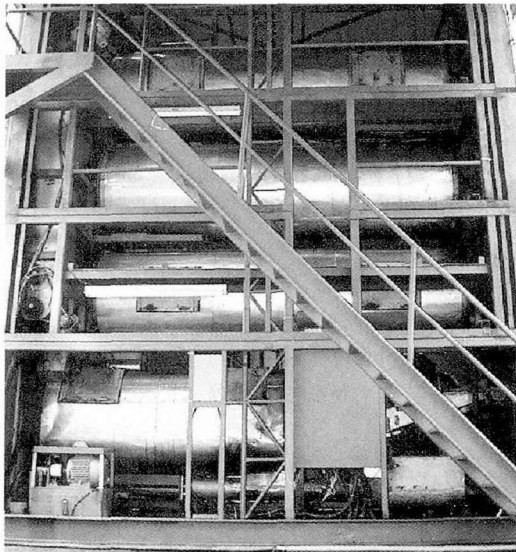
3. 결과 및 고찰

전년도 현장운전에서 얻어진 실험 결과 및 문제점들을 기초로 하여 장치의 부분 개보수를 실시하였으며 이 기간 동안 운전정지 후 겨울철(1월초부터 2월말)까지의 약 50일간의 운전결과를 다음과 같이 제시하였다.

3.1 연속운전에 따른 발효단 온도변화

약 50일간의 운전 결과 [Fig 3]에서와 같이 운전기

간동안 발효1,2,3,단의 온도변화가 거의 일정한 경향을 보여주었으며 운전기간 중 발효 1단 50~58.6℃, 발효 2단 40.7~49.7℃, 발효 3단의 경우 32.4~37.1℃의 범위를 나타내었다. 이상의 결과에서 하절기 운전시 발효단 온도보다 각 단별로 약 10℃정도 온도가 하강하는 것을 알수 있었으나 운전의 실패를 초래할 만큼의 문제는 발생하지 않았기 때문에 별도의 가운을 실시하지는 않았다. S사업소에서의 현장실증 운전의 경우 발효 1단에서의 온도보다 발효2단의 온



[Fig 2] 실험에 사용된 퇴비화 장치

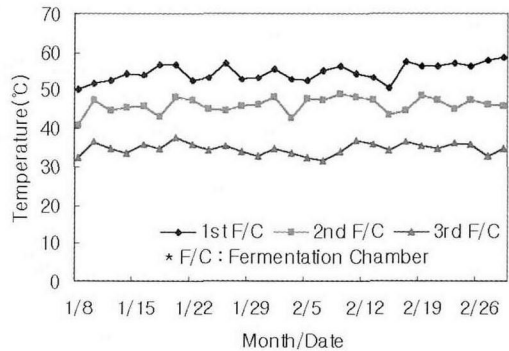
도가 높게 나타났으나 N사업소에서는 발효 1단의 온도가 발효 2단의 온도보다 약 10℃정도 상회함을 알 수 있었는데 이는 투입슬러지의 유기물 함량이 낮아 발효 1단에서 발효 반응이 거의 이루어지고 발효 2단에서 끝나는 것으로 판단되어진다.

3.2 연속운전에 따른 수분 변화

[Fig 4]는 연속운전에 따른 수분 변화를 보여주고 있다. 퇴비화 시스템에서 수분은 매우 중요한 인자이다. 퇴비화의 초기에 수분함량은 높아야 하지만 이로 인해 반응에 저해를 주게 되면 안 된다. 대부분의 퇴비화 반응은 45~60%의 함수율로 진행되며 일반적으로 함수율이 40% 이하를 나타낼 경우 미생물의 활동이 저해를 받는 것으로 알려져 있다. 그림에서 보는 바와 같이 원료의 함수율은 기간동안 거의 77%를 상회하고 있으며 운전기간동안 발효1단은 45%전후, 발효2단은 37% 전후, 발효3단의 경우에는 32%전후의 경향을 보여주고 있다.

3.3 연속운전에 따른 유기물 함량 변화

[Fig 5]에 연속운전에 따른 유기물 함량 변화를 보여주고 있다. 원료의 경우 47% 전후의 유기물 함량을 나타내고 있으며 발효1단은 36%전후, 발효2단은 32% 전후, 발효3단의 경우에는 29%전후의 경향을 보여주고 있다. 상기의 결과

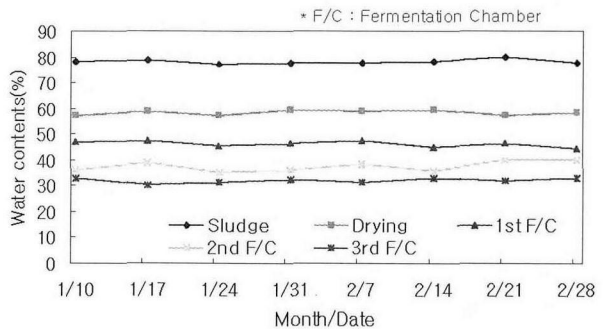


[Fig 3] 운전기간에 따른 발효단의 온도 변화

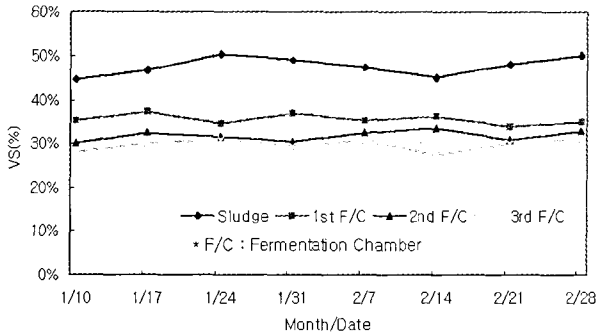
로부터 시간이 경과함에 따라 고형물중 미생물에 의해 분해 가능한 부분중 약 38%가 분해되었다.

3.4 연속운전에 따른 pH 변화

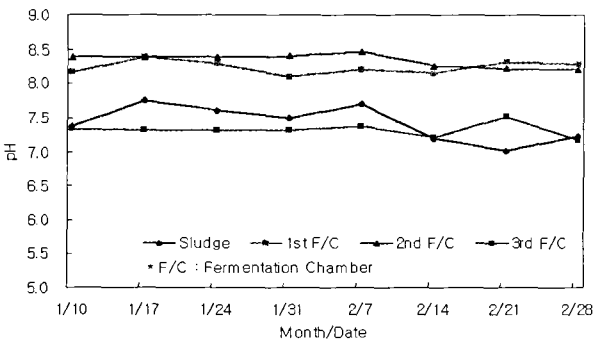
[Fig 6]에 연속운전에 따른 pH 변화를 보여주고 있다. 원료의 경우 운전초기 7.5 부근 유지하였고 이때 발효1,2 단의 pH는 8.2전후를 나타내었으며 발효 3단의 경우는 8.3을 나타내었고 운전기간 동안 큰 변화 없이 안정적인 pH를 유지하는 것으로 나타났다. 그러나 30일이 지난 시점에서 투입슬러지의 pH가 하강하였으나 발효단의 pH에는 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다. 따라서 상기의 결과로부터 퇴비화 반응이 안정적으로 진행될 경우에는 유입되는 케이크의 pH가 하강하여도 퇴비화 반응에 큰 영향을 미치지 않는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 함수율이 높아짐으로 해서 공기공급이 불완전해지고 따라서 암모니아가스의 발생이 감소하여 pH에 영향을 미칠 수 있기 때문에 함수율의 조절은 퇴비화 공정의 성패를 좌우할 수 있을 것으로 생각된다.



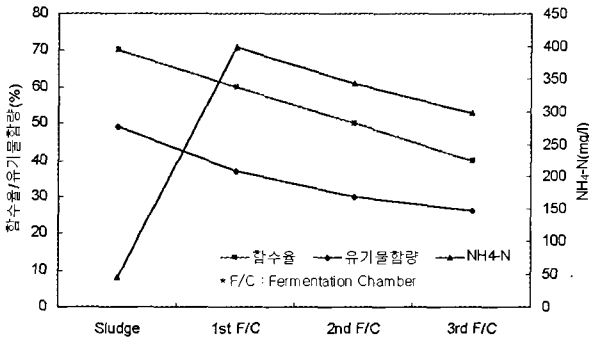
[Fig 4] 운전기간에 따른 발효단의 함수율 변화



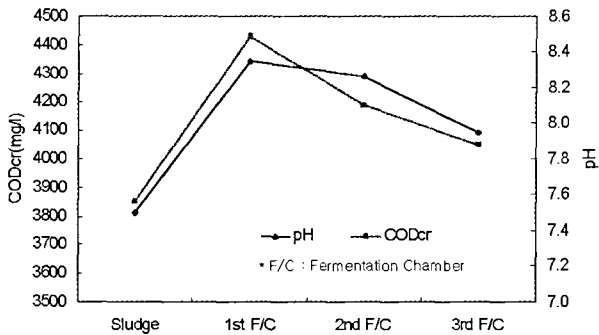
(Fig 5) 운전기간에 따른 발효단의 유기물함량 변화



(Fig 6) 운전기간에 따른 발효단의 pH 변화



(Fig 7) 처리단계별 합수율, 유기물함량, NH4-N 의 변화



(Fig 8) 처리단계별 pH, CODcr의 변화

3.5 전체공정중의 물질분해 및 성상변화

전체 운전기간동안 처리단계별로 정상상태 조건에서 합수율, 유기물함량(VS), 암모니아의 농도를 측정된 결과를 평균하여 (Fig 7)에 나타냈다. 합수율은 반응의 진행단계에 따라 변화하였으며 당초 설계된 80%에서 건조하여 60%, 발효 1단에 45%전후, 발효2단에 37%전후, 발효3단에서 32%전후를 유지했다. 또한 운전기간 중에 암모니아농도가 높게 관찰되었으며 발효1단에서는 400ppm까지 나타났다.

유기물의 분해는 초기에 47%전후의 함량을 나타내었으며 건조단에서는 유기물의 분해가 거의 없었으나 발효단을 거치면서 분해가 일어나 최종 27~31%선까지 분해되었다. 상기의 측정인자 외에 pH와 COD_{Cr}농도를 측정하여 (Fig 8)에 나타냈다. 각 단계별로 pH는 증가하다 감소하는 현상이 관찰되었으며 초기값이 7.2정도에서 건조에 의해서는 변화가 없었으나 30%의 반송퇴비와 혼합이 되면서 증가하기 시작하여 발효단에서 암모니아의 발생과 함께 증가하는 현상이 관찰되어 8.3 부근을 유지했으며 발효3단에서는 원료의 pH와 비슷한 경향을 나타내었다. 이와 같이 pH가 증가하는 현상만으로도 발효단에서 미생물의 대사가 활발하게 이루어지고 있는 것을 확인할 수 있으며 또한 COD농도의 변화는 회분식 반응조 및 전년도 현장운전에서 얻어졌던 결과와 유사하게 초기에는 증가하는 현상이 관찰되었으나 반응의 진행에 따라 감소하는 현상이 관찰되었다. 이러한 결과는 초기에 미생물에 의하여 고분자물질이 분해되면서 저분자화되어 용출실험에 있어서 수용액에 용해되나 반응이 활발하게 일어나면서 저분자화한 물질이 미생물에 의하여 재차 분해되면서 용해성의 저분자 물질이 감소되어 가는 것으로 판단된다. 따라서 물질의 성상변화에서 볼 수 있듯이 반응조 내에서 미생물분해가 활발하게 일어나 퇴비화가 진행되고 있는 것으로 확인되었다.

3.6 생산된 퇴비의 품질분석

퇴비화 과정에서 생산된 퇴비중의 일반성상과 중금속의 함량을 분석하여 (Table 1)에 나타내

[Table 1] 생산된 퇴비의 품질 분석

구 분	pH	유기물 함량(%)	중금속 함량(mg/kg sludge)					
			As	Cd	Pb	Cr	Cu	Hg
생슬러지	7.5	50	1.15	3.09	32.1	26.5	324	ND
최종 배출물	8.1	28	2.75	3.83	43.4	101	400	ND
부산물 비료규격	-	25%이상	50	5	150	300	500	2

었는데 유기물함량이 50%선을 유지하고 있었으며, pH도 증성을 나타내었다. 또한 중금속 함량은 기준치 이하였고, 성분분석시에 분석된 자료와 비교하여 낮은 값을 유지하였다. 슬러지의 성상은 퇴비화과정을 거치면서 물성이 변화하였다. 특히 수분함량이 작아졌고, 유기물은 서서히 분해되어 최종퇴비에서 28%를 유지했으며, pH는 잘 부숙된 퇴비에서 관찰되는 것과 같이 약알카리성을 나타냈다. 생산된 퇴비의 품질에 있어 가장 관심있는 부분인 생성 퇴비내의 포함된 유해 중금속함량은 아래 표에서 나타낸 바와 같이 수분의 영향을 배제한 건조함량 기준으로 모든 중금속에 대해 규제값 이내인 것을 확인 할 수 있었다. 따라서 본 실험 현장에서 발생하는 슬러지는 퇴비화 후 부산물 비료로서의 활용이 가능한 것으로 판단되었다.

4. 결론

- (1) 연속운전을 실시한 결과 전반적으로 발효 1단에서 발효 2단보다 온도가 높은 경향을 보여주었고 운전기간동안 발효 1단 50~58.6℃, 발효 2단 40.7~49.7℃, 발효 3단의 경우 32.4~37.1℃로 온도가 거의 일정하게 유지되는 경향을 나타냈으며, 유기물함량, 함수율의 경우에 있어서도 유사한 결과를 나타내어 안정적으로 퇴비화 반응이 진행됨을 확인할 수 있었다.
- (2) 운전기간 중에 암모니아, COD농도등 물질의 성상변화에서 볼 수 있듯이 반응조 내에서 미생물 분해가 활발하게 일어나 퇴비화가 진행되고 있는 것을 확인할 수 있었다.
- (3) 생산된 퇴비의 품질을 분석한 결과, 유기물은 서서히 과정별로 분해되어 최종퇴비에서 28%를 유지했으며 pH는 잘 부숙된 퇴비에서 관찰되는 것과 같이 약알카리성을 나타냈고 생산된 퇴비의 품질에 있어 중요한 인자인 생성 퇴비내의 중

금속함량은 모두 규제값 이내인 것을 확인 할 수 있었다.

- (4) 결론적으로 입형다단 방식의 퇴비화 장치를 이용하여 정상운전을 실시한 결과 체류시간 14일 이내에 퇴비가 생성되었고, 퇴비의 성상 또한 부산물비료규격의 규제치를 모두 만족하는 것으로 나타났으며 동절기에도 불구하고 안정적인 퇴비화가 가능한 것으로 나타났다.

5. 참고문헌

1. 염규진, 하·폐수슬러지의 재활용 방안, 월간폐기물 10월호, 1997
2. 서종호, 부산물비료 사용원료 규제, 월간폐기물 10월호, 1997
3. 배영진외, 하수슬러지의 퇴비화에 관한 연구, 한국건설기술연구원, 1994
4. 이호태, 하수슬러지의 적정 처리기술, 월간폐기물 9월호, 1996
5. 정광용, 유기질 및 부산물비료의 이해
6. 신형식, 쓰레기 퇴비화시설의 설계, 운영지침 및 모델 개발, 한국자원재생공사, 1995
7. "하수 슬러지의 퇴비화에 관한 연구", 한국건설기술연구원, 1994.12
8. "퇴비화와 폐기물관리 정책의 미래", 한국자원재생공사, 1996.11
9. "쓰레기 퇴비화 시설의 설계, 운영 지침 및 모델 개발", 한국자원재생공사 1996.11
10. "폐기물 퇴비화에 대한 교육 및 홍보 프로그램 개발", 한국자원재생공사 1996.12
11. "퇴비제품의 안정성 및 효용성 평가", 한국자원재생공사, 1996.11
12. "파일럿 플랜트 퇴비화시설의 운전특성 및 개선방안", 한국자원재생공사, 1996.12

13. "퇴비관련 법제 및 제품의 표준화 연구", 한국자원재생공사, 1994.7
14. "Composting Process Design Criteria", - Part IV-Case Study, BioCycle 1986.11
15. "Composting Process Design Criteria", - Part I -Feed Conditioning, BioCycle, 1986
16. "Composting Process Design Criteria", - Part II -Detention Time, BioCycle, 1986
17. "Mechanized Drying/Composting System", BioCycle, 1985.9
18. M.S.Finstein, F.C.Miller, J.A. Hogan, P.F. Strom "Analysis of EPA Guidance On Composting Sludge", Part IV-Facility Design and Operation, BioCycle, 1987.4
19. "Analysis of EPA Guidance On Composting Sludge", Part III -Oxygen, Moisture, Odor, Pathogens, BioCycle, 1987. 3
20. M. Shoda and C-G, Phae., "Composting of sewage sludge. Its trend and controlling factors.", The 6th international symposium on environmental techniques development(Dong A University), Vol 11, No.2, p327~333, 1988. ☺