

하수슬러지와 Alum 슬러지를 이용한 퇴비화

張基運, 林栽信,* 李寅馥, 金英漢**

충남대학교 농과대학 농화학과
*한국과학기술원 토목공학과
**한국수자원공사 수자원연구소

Composting of Sewage Sludge and Alum Sludge

Ki Woon Chang, Jae Shin Lim,* In Bog Lee and Young Han Kim**

College of Agriculture, Chungnam Nat'l University,
*Dept. of Civil Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology,
**Water Resources Research Institute, Korea Water Resources Corporation

ABSTRACT

This study is concerned with the assessment of the possibility of alum sludge composting, as well as changes of some chemical properties during composting.

Alum sludge was mixed in different proportions, which are 0%, 25%, 35% and 45%, respectively, with a sewage sludge and sawdust mixture. The final mixtures to be composted are placed on static piles constructed with a perforated aeration pipe on the ground, and composted for more than 50 days.

During the composting of some alum sludge treatments, there was not notable difference in changes of pH, C/N ratio, and content of several minerals among the alum sludge treatments, while changes of pile temperatures and CEC were significant and these remarkable differences in related to the pile temperatures and CEC seem suitable for the evaluation of alum sludge maturity. Also, the results suggested that the proper mixing ratio of alum sludge for composting was 25% level.

Keywords: Sewage sludge, Alum sludge, Composting, Chemical properties, Maturity degree

* 본 논문은 한국수자원공사의 지원을 받아 수행한 연구의 일부임.

초 록

본 실험은 alum슬러지를 도시하수슬러지나 톱밥과 같은 유기물질들과 혼합하여 퇴비화를 하였을때 그 사용 가능성을 알아보고자 실행되었다. 톱밥과 제지슬러지를 같은 부피의 비율로 혼합한 후 alum슬러지를 이들 원료에 대해서 부피로 0%, 25%, 35%, 45%를 혼합하였다. 퇴비화장치는 aerated static pile을 사용하였으며, 화학분석과 미생물의 변화를 조사하여 부숙정도를 판정하였다.

퇴비화 과정중 0%와 25% alum 처리구는 30일 까지 온도가 55°C~68°C까지 급격히 상승하였으며 세균 및 방선균의 수가 급격히 증가하였으나, 35%와 45% alum 처리구의 온도는 50°C 이상 올라가지 않았다. 퇴비화 기간중 모든 처리구에서 탄소함량과 C/N율은 점차적으로 감소하였다. 양이온 치환용량(CEC)은 0%, 25% alum처리구에서 퇴비화 30일 동안 70me/100g까지 증가하였으나 다른 처리구에서는 약간 증가하거나 혹은 증가하지 않았다.

핵심용어: 하수슬러지, Alum 슬러지, 퇴비화, 화학분석, 부숙정도

1. 서 론

우리나라의 상수도시설은 560여개소에 달하고 있고, 총시설용량은 18,787,429m³/일, 정수생산량은 13,724,377m³/일로서 여기서 발생되는 정수장 폐기물은 건조물량 기준으로 300ton/일, 수분함량 80%기준으로 1,500ton/일로서 연간 약 550,000ton이 발생되고 있는 것으로 추산된다.

이러한 폐기물은 거의 대부분이 매립처분에 의존하고 있으나, 매립지의 부족과 매립작업의 어려움은 슬러지의 처분을 지연시켜 정수처리 효율을 저하시키고 정수처리비용의 상승을 초래하고 있다. 이에 대하여 선진 외국에서는 매립 방법외에 건설자재, 요업재료, 농업재료 등으로서 이용도를 높이고자 자원화를 위한 연구가 진행중에 있으나 실용기술의 개발이 활발히 이루어지지 못하고 있으며 자원화에 소요되는 비용이 일반 재료에 비하여 상대적으로 높기 때문에 아직은 본격적인 활용으로 이어지지 못하고 있어 이에 대한 자원화 기술의 개발과 실용화가 시급한 실정이다.

Alum 슬러지는 농업토양에 양호한 pH, 높은 치환성 염기를 보유하고 있으나, 입자가 미세하고 높은 Al을 함유하고 있어 직접 토양에 시용할 경우 토양의 물리화학적 악변시킬 우려가 있다.

특히 alum 슬러지에 다량 함유되어 있는 Al은 pH 5.5이하의 산성토양에서는 급격히 활성화되어 토양중의 칼슘과 인산을 고정하여 토양 비옥도를 저하시키고, 식물의 수분과 영양분의 흡수를 방해하여 세포분열을 억제하며, 결과적으로 식물체의 뿌리와 지상부의 생육을 저해하여 작물의 생산성을 떨어뜨린다¹⁾²⁾³⁾⁴⁾.

Al은 유기물과 매우 결합을 잘하는 원소로서, Al-유기물 복합체 형성으로 치환성 Al의 함량이 감소하여 Al에 의한 식물독성이 감소한다고 보고되었다⁵⁾.

한편 도시하수 슬러지는 유기물 함량이 많고, 질소, 인산 등의 필수 식물영양원을 다량으로 함유하고 있다. 그러므로 alum 슬러지와 도시하수슬러지의 퇴비화과정을 통하여 alum 슬러지 중의 Al의 활성을 저하시키고, 식물영양의 균형을 이루어 농업적 이용의 가능성을 높이고

자 한다. 또한 부숙과정중 물리화학적 연구, 미생물의 변화조사 등의 연구를 수행하여 기존에 연구된 부숙도 판정법을 적용하여 부숙도를 판정하고, alum 슬러지의 함량과 부재료 배합에 따른 적정 부숙조건을 연구하여 폐기에 문제가 되는 슬러지의 재활용 가능성을 검토하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2. 1 공시재료

대덕정수장에서 생산된 alum 슬러지의 퇴비화를 위하여 대전직할시 하수종말처리장에서 제공된 하수슬러지 및 대전직할시 유성 소재 목재소에서 구입한 칠레육송 톱밥을 부원료로 사용하였으며, 원료의 이화학적 성질은 표 1과 같다.

2. 2 퇴비화 방법 및 공정

도시하수슬러지와 톱밥을 혼합한 부원료에 대한 alum 슬러지의 혼합비(건물중 기준)는 0%, 25%, 35%, 45%로 하였다. 이들 처리구의 기호는 편의상 각각 SS-SD, Al-25, Al-35, Al-45로 표기하였다. Bulking agent는 wood chip을 각각 부피비로 20%씩 혼합하였고, 원료는 동력 믹서와 수작업으로 혼합하였다. 퇴비화 장치는 그림 1과 같으며, 각 처리구의 발효조의 규모는 각각 1m³의 규모로 하였다. 발효조의 바

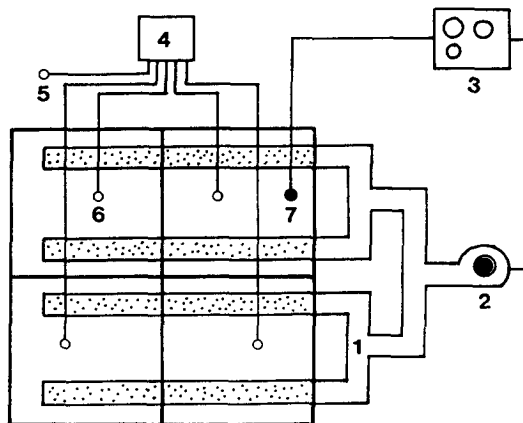


Fig. 1. Diagram of composting system.

1: 70mm perforated PVC pipe, 2: Blower(720m³/hr), 3: Controller(Thermostat set on 60°C), 4: Temperature recorder, 5: Temperature sensor(Air), 6: Temperature sensor(Compost pile), 7: Temperature sensor(Controller).

닥은 비닐로 깔아 지표의 습기가 올라오지 못하도록 하였으며, 퇴적물의 공기공급을 위한 송풍파이프는 5cm 간격으로 0.8mm(I.D.)의 구멍이 뚫린 직경 75mm의 PVC 파이프를 사용하였다. 이 파이프의 송풍구멍이 막히지 않도록 송풍파이프 위에 미세한 그물망을 설치하였다. 또한 각처리구의 품온을 유지시키고, 외부온도의 영향을 받지 않도록 하기 위하여 발효조벽 외부에는 30mm 폴리스티렌 단열재를 부착하였다. 퇴비화 방법은 강제송풍방식(Aerated static pile process)을 사용하였고, 온도조절을 위한

Table 1. Chemical properties of raw materials for composting.

Materials	pH (1:5)	T-C (%)	T-N (%)	C/N ratio	Ava. P ₂ O ₅ (ppm)	Exch. cation(me/100g)				Ava. Al (%)	CEC (me/100g)
						K	Ca	Mg	Na		
Alum sludge	7.0	7.0	0.8	8.8	158	0.7	11.6	0.8	0.6	2.2	44.5
Sewage sludge	6.7	22.9	3.4	6.7	2550	3.4	10.0	5.6	1.5	0.2	78.6
Sawdust	5.6	40.0	0.1	400	241	1.3	2.1	1.3	1.6	-	38.0

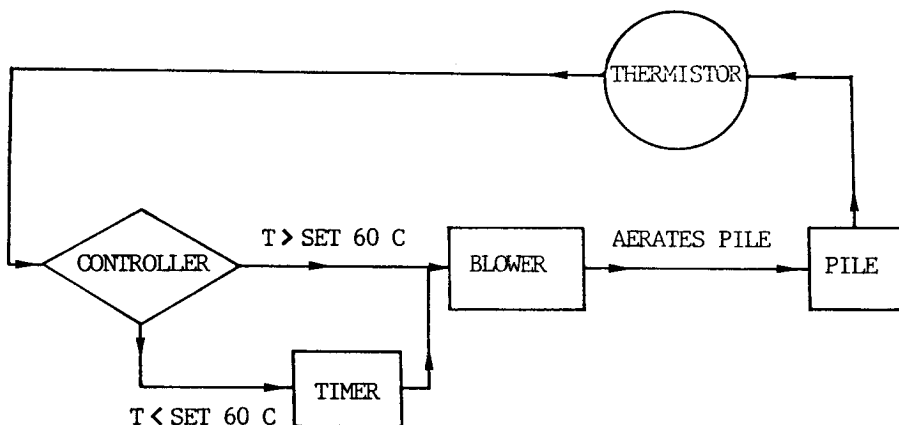


Fig. 2. Diagram of temperature feedback-blower control system.

공기공급은 Temperature feedback-blower control system^{17,21)}을 이용하였다(그림 2). 즉 퇴비발효조의 온도가 60°C 이상이면 blower가 계속 작동하고, 퇴비발효조의 온도가 60°C 이하이면 5시간 간격으로 10분씩 송풍하도록 조정하였다. 공기송풍량은 각 발효조당 180m³/hr 이었다.

2. 3 부숙도 판정

2. 3. 1 온도

각 퇴적물의 부숙온도 변화는 처리구와 대기 온도로 구분하여 자동 온도기록장치(Yokogawa Model 4156, Japan)를 이용하여 측정하였다.

2. 3. 2 화학성분 분석법

퇴비화 과정중의 시료는 7일간격으로 퇴적물의 50cm 깊이에서 일정시료를 균일하게 채취하여 혼합한 후 풍건시키고, 2mm 및 0.5mm를 통과한 시료를 성분분석에 이용하였다. pH, 탄소, 질소, 양이온치환용량(CEC), 가용성인산 및 각종 양이온들을 분석하였고, 분석방법은 농촌진흥청 분석방법에 준하였다¹⁾.

2. 3. 3 미생물 생균수 측정법

건물중 기준으로 시료 1g을 살균한 유발에 넣고 0.85% 생리식염수로 희석하여 현탁시킨 다음 평판도말하였다. 고온성 세균 및 고온성 방선균은 50°C에서, 곰팡이와 중온성 세균 및 중온성 방선균은 30°C에서 배양후 균수를 측정하였으며, 배지의 조성은 다음과 같다.

세균: pH 6.8, Nutrient broth 8g/l, Agar 15g/l, Cycloheximide 50g/l, Water 1ℓ.

방선균: pH 7.0, Oat meal 20g/l, Agar 15g/l, Nystatin 5g/ml, Water 1ℓ.

사상균(곰팡이): pH 5.1, PDA(Potato dextrose agar) 24g/l, Water 1ℓ.

3. 결과 및 고찰

3. 1 퇴비화 과정중의 온도변화

퇴비화 과정중 온도상승은 미생물이 유기물질을 분해하는 과정에서 자연적으로 발생하며 이때 수분, 공기 및 영양분은 미생물의 생육에 적절한 조건으로 유지되어야 하고, 품온이 유지될 수 있는 충분한 부피가 있어야 한다.

퇴비화 과정중 온도변화는 그림 3에서 보는 바와 같이 SS-SD 처리구는 20일 이후 온도가

68°C까지 급격히 상승하다가 감소하기 시작하여 40일 이후부터는 35°C~40°C정도에서 안정화되어 주발효가 완료된 것으로 판단되었다. Al-25 처리구는 20일 이후 60°C까지 상승했다가 완만한 감소 현상을 보였다. 그러나 Al-35, Al-45 처리구는 유기물을 주도적으로 분해하는 고온균의 생육이 저조하여 온도의 상승이 부진하였으며 품온이 유지되지 않았다. 이와 같은 결과는 Al-35, Al-45 처리구는 대부분 무기물을 이루고 있는 alum 슬러지의 양이 상대적으로 많고 유기물의 함량이 적어 미생물이 생육하기에 적합하지 않았기 때문이라고 판단된다. 이러한 현상은 일본에서 정수장슬러지와 잡초를 혼합하여 퇴비화 실험을 한 吉田 重方 등²⁴⁾의 연구결과와도 일치한다. 온도변화의 결과로 볼 때, alum 슬러지와 같은 무기물이 많은 재료를 퇴비화의 원료로 사용한다면 25%이하가 적당할 것으로 판단된다. 그러나 본실험의 목적상 각 처리구에 Controller, Blower, Timer를 개별적으로 설치하여 퇴비화를 실시하여야 했으나, 그림 1과 같이 4개의 처리구중 Al-25 처리구의 온도를 기준으로 하여 공기를 공급하였으므로, 정확한 결과를 얻기 위해서는 각 처리구에 대한 개별적인 실험이 필요하리라 판단된다.

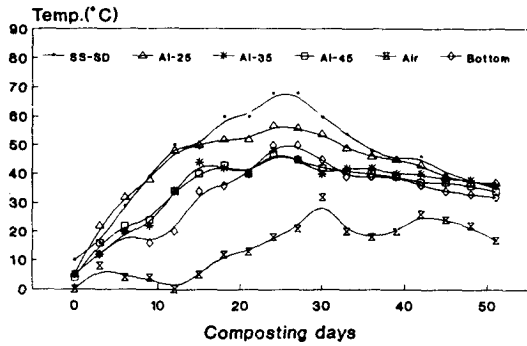


Fig. 3. Changes of temperature during composting.

3. 2 퇴비화 과정중 화학성의 변화

퇴비화과정중 처리구별 이화학적 변화에 관한 결과는 표 2, 3, 4, 5와 같다.

T-C, T-N 및 C/N을 유기물중의 탄소는 미생물의 에너지원으로 사용되고, 질소는 영양원으로 이용된다¹⁾. 호기적 퇴비화가 진행되는 과정중에 유기태 탄소는 CO₂ 형태로 대기중에 방출되고, 질소는 혐기상태로 인하여 암모니아 가스로 방출되거나 용탈되지 않는 한 미생물의 체내에 축적됨으로 소실되지 않는다. 그러므로 C/N율은 점차적으로 감소하는 경향을 보인다^{3,5,11,13,14,15,17,19}. 본 실험에서도 4개 처리구 공히 C/N율이 감소하였고, 그 감소율은 각각 Al-

Table 2. Changes of chemical properties during composting of SS-SD.

Days	pH (1:5)	T-N (%)	T-C (%)	C/N ratio	Ava. P ₂ O ₅ (ppm)	Exch. cation (me/100g)				Ava. Al (%)	CEC (me/100g)
						K	Ca	Mg	Na		
1	6.3	1.68	38.79	23.1	2,073	1.9	3.8	4.8	1.1	0.2	51.5
8	6.8	1.76	37.26	21.2	2,004	2.3	4.2	5.7	1.4	0.2	64.0
15	7.2	1.90	34.00	17.9	2,104	2.3	4.3	5.5	1.4	0.2	68.4
22	7.2	1.87	33.24	17.8	2,014	2.3	4.4	5.2	1.4	0.2	70.3
29	7.3	1.86	33.52	18.0	2,114	2.5	4.0	5.3	1.5	0.2	71.4
36	7.0	1.89	33.53	17.7	2,541	2.8	4.1	5.9	1.4	0.2	71.0
43	6.8	1.74	33.47	19.2	2,397	2.6	4.2	6.1	1.4	0.2	70.8

Table 3. Changes of chemical properties during composting of Al-25.

Days	pH (1:5)	T-N (%)	T-C (%)	C/N ratio	Ava. P ₂ O ₅ (ppm)	Exch. cation (me/100g)				Ava. Al (%)	CEC (me/100g)
						K	Ca	Mg	Na		
1	6.4	1.19	34.70	29.1	1,122	2.0	4.3	4.8	1.4	1.3	53.3
8	6.7	1.24	33.29	26.8	1,134	2.2	4.3	4.8	1.4	1.3	62.1
15	7.1	1.26	33.00	26.2	1,674	2.2	4.4	4.9	1.4	1.0	65.8
22	7.3	1.25	32.80	26.2	1,336	2.3	4.4	4.7	1.5	1.5	70.7
29	6.8	1.27	32.20	25.4	1,542	2.4	4.4	4.9	1.5	1.6	71.0
36	6.6	1.30	32.10	24.7	1,646	2.3	4.1	4.4	1.3	1.4	70.9
43	6.7	1.29	30.10	23.3	1,650	2.4	4.5	4.7	1.4	1.4	71.4

Table 4. Changes of chemical properties during composting of Al-35.

Days	pH (1:5)	T-N (%)	T-C (%)	C/N ratio	Ava. P ₂ O ₅ (ppm)	Exch. cation (me/100g)				Ava. Al (%)	CEC (me/100g)
						K	Ca	Mg	Na		
1	6.7	1.15	34.11	29.7	386	1.8	5.1	4.5	1.0	1.9	53.3
8	6.7	1.29	34.24	26.5	368	1.9	5.0	4.1	1.0	2.0	54.7
15	7.1	1.12	33.86	30.2	394	2.0	5.0	4.5	1.1	2.0	56.0
22	7.0	1.15	33.46	29.0	390	1.9	4.8	3.9	1.0	1.6	56.9
29	6.7	1.15	32.90	28.6	397	2.1	4.7	4.1	1.1	1.9	55.4
36	6.6	1.22	33.13	27.1	410	2.0	4.3	4.3	1.3	2.0	56.8
43	6.5	1.21	32.20	26.6	415	1.9	4.5	4.4	1.1	2.1	57.0

Table 5. Changes of chemical properties during composting of Al-45.

Days	pH (1:5)	T-N (%)	T-C (%)	C/N ratio	Ava. P ₂ O ₅ (ppm)	Exch. cation (me/100g)				Ava. Al (%)	CEC (me/100g)
						K	Ca	Mg	Na		
1	6.8	1.03	26.57	25.8	304	1.6	6.7	3.7	0.9	2.0	49.0
8	6.8	1.04	25.07	24.1	312	1.6	7.2	3.7	0.9	2.0	50.3
15	7.1	0.98	24.58	25.1	322	1.6	7.4	3.6	0.9	2.1	52.2
22	6.9	1.08	24.33	22.5	341	1.6	7.7	4.1	0.9	2.1	53.9
29	6.8	1.00	23.86	23.8	339	1.7	8.0	3.5	1.0	2.0	52.8
36	6.8	1.00	23.72	23.7	345	1.7	7.9	3.7	1.0	2.1	56.4
43	6.7	1.12	22.48	20.1	342	1.7	7.7	3.7	1.0	2.1	52.1

45(22%) > Al-25(20.1%) > SS-SD(17%) > Al-35(10.4%)를 나타냈으며, 이는 온도 증가

와는 다소 상이한 결과이다. 퇴비화를 하는데 있어서 가장 적절한 C/N을

은 연구자들에 따라 약간의 차이는 있지만 주로 25~35정도로 알려져 있다. C/N율이 25 이하일 경우, 암모니아의 휘발이 일어나 악취가 발생하며, 질소원의 손실로 최종 퇴비제품의 농업적 가치가 상실된다. 한편 C/N율이 40 이상일 경우에는 질소결핍이 일어나 미생물의 증식예 지장을 초래함으로 분해속도가 늦어진다⁷⁾.

C/N율을 이용해서 부숙도를 판정하는 것은 전통적인 방법중의 하나이고, 많은 연구자들이 C/N율이 20 이하일 때 부숙의 완료점이라고 하였으나, 미부숙된 퇴비원료 자체의 C/N율이 낮은 경우가 있으므로 이들의 이론을 부숙도 판정법에 일률적으로 적용하는 것은 적당하지 않다¹³⁾.

Jimenez와 Garcia는 (최종 C:N율)/(최초 C:N율)의 비율이 0.75 이하일 때를 부숙의 완료점으로 보았으나, 이 수치는 120일 이상의 퇴적 처리구에서만 적용할 수 있다. 가장 이상적인 퇴비의 C/N율은 10 내외이며, 이는 미생물 자체의 C/N율이 약 10정도이기 때문이다²⁰⁾. 그러나 이와 같은 이상적인 퇴비 상태가 되기 위해서는 많은 시간이 요구되기 때문에 현실적으로 적용하기는 어렵다. C/N율이 높은 원료나 혹은 C/N율이 낮다 하더라도 분해가 덜 된 셀룰로우스의 함량이 많은 퇴비를 토양에 시비하였을 경우 질소의 극단적인 유기화, 토양의 이상환원 그리고 질소기아 현상 등에 의한 작물생육 장애를 일으킬 수 있으므로²⁵⁾ C/N율을 기준으로 한 부숙도 판정에 정확도를 기해야 한다.

pH

퇴비화 과정중 pH의 변화는 모든 처리구 공히 약 20일 전후까지 서서히 증가하였다가 그후에 점차 감소하여 중성 범위에서 일정하게 유지되는 경향을 보였다. 호기적 퇴비화과정의 초기는 산성화 단계로서 acetic acid, propionic

acid, butyric acid 등의 유기산이 다량으로 발생하며, 부숙이 완료되면 이들 유기산의 발생량은 현저히 감소하는 것으로 알려져 있다²²⁾. 그러나 본 연구에서는 pH를 산성영역으로 떨어뜨리는 유기산들의 영향에도 불구하고 오히려 pH가 증가하는 경향을 보였는데, 이는 유기물 분해과정중 다량으로 발생하는 암모니아의 영향으로 추정되며^{12, 23)}, 퇴비화 최종단계에서는 이들 유기산과 암모니아의 제거로 pH는 중성 범위에서 거의 일정하게 유지되는 경향이였다.

CEC

SS-SD와 Al-25처리구의 CEC는 55°C이상이 고온이 유지되었던 22일까지 급격히 증가하여 70me/100g 수준으로 유지되었다. 그러나 온도의 상승이 미미했던 Al-35와 Al-45 처리구는 초기 CEC의 값과 큰 차이가 없었다.

CEC는 유기물의 부숙과 밀접한 관계가 있어 부숙도 판정에 많이 이용되어 왔으며^{2, 8, 9, 10, 11)}, 유기물의 분해가 진행됨에 따라 CEC는 증가하는 것으로 알려졌다^{3, 6, 14, 17, 25)}. 이는 phenolic hydroxyl기와 carbonyl기가 carboxyl기로 산화되어 양이온이 치환될 수 있는 음하전이 증가하기 때문이다²⁵⁾. 또한 CEC는 C/N율과도 높은 상관관계가 있는 것으로 알려졌다⁹⁾. SS-SD와 Al-25처리구의 CEC 증가율은 각각 초기의 CEC가 51.1me/100g과 53.30me/100g에서 38.6%와 33.8% 증가한 70.8me/100g과 71.4me/100g으로서 Riffaldi 등¹⁸⁾의 부숙도 판정기준인 60me/100g 이상이었으며, 이로 볼 때 SS-SD, Al-25처리구는 부숙이 완료되었다고 볼 수 있다. 그러나 Al-35, Al-45 처리구의 최종 CEC는 57.0me/100g과 52.1me/100g으로서 Riffaldi 등의 부숙도 판정기준으로 볼 때 부숙이 완료되지 않았음을 알 수 있다.

3. 3 미생물 생균수 측정

퇴비화의 부숙도를 판단하기 위하여 퇴비화 과정중 미생물 생균수를 측정 한 결과는 표 6,7,8,9에 나타낸 바와 같다.

Alum 슬러지를 혼합하지 않은 SS-SD와 25% 혼합한 A1-25 처리구에서는 부숙이 진행되면서 고온성 세균과 고온성 방선균의 증가로 유

기물의 분해가 활발하여 60°C~68°C의 고온을 유지하였지만, alum 슬러지 35%처리구와 45% 처리구에서는 고온성 세균의 생육저조로 퇴적물의 온도상승이 충분하지 못하여 유기물의 분해가 저조한 것으로 판단된다. 이와 유사한 결과로서 약 20일 전후로 고온성 균들이 활발히 증식하는 SS-SD 및 A1-25처리구에서는 표 2 및

Table 6. Changes of microorganisms during composting of SS-SD.

Microorganisms		Composting days						
		1	8	15	22	29	36	43
Bacteria	Ther ^a	3.0×10 ⁴	3.0×10 ⁶	4.3×10 ⁹	3.4×10 ⁹	4.3×10 ⁹	4.1×10 ⁸	3.2×10 ⁵
	Meso ^b	1.0×10 ⁹	2.2×10 ⁸	9.0×10 ⁶	6.6×10 ⁷	2.4×10 ⁵	8.0×10 ⁸	8.0×10 ¹⁰
Actino-mycetes	Ther	2.1×10 ⁴	2.0×10 ⁷	9.8×10 ⁸	2.0×10 ⁸	2.1×10 ⁹	2.9×10 ⁸	2.1×10 ⁵
	Meso	7.4×10 ⁷	2.0×10 ⁶	6.3×10 ⁴	5.2×10 ⁵	1.1×10 ⁵	7.4×10 ⁶	4.3×10 ⁶
Fungi	Meso	8.0×10 ⁴	3.0×10 ⁴	1.2×10 ⁴	1.2×10 ³	6.0×10 ³	2.3×10 ⁴	4.1×10 ⁴

a: Thermophile, b: Mesophile.

Table 7. Changes of microorganisms during composting of A1-25.

Microorganisms		Composting days						
		1	8	15	22	29	36	43
Bacteria	Ther	2.1×10 ⁴	3.0×10 ⁵	2.4×10 ⁹	3.2×10 ⁹	7.1×10 ⁸	5.2×10 ⁸	4.1×10 ⁵
	Meso	5.5×10 ⁹	1.8×10 ⁷	3.4×10 ⁶	2.3×10 ⁷	8.1×10 ⁶	7.4×10 ⁸	9.0×10 ⁹
Actino-mycetes	Ther	2.0×10 ³	7.0×10 ⁵	5.3×10 ⁹	1.6×10 ⁹	4.0×10 ⁸	3.1×10 ⁵	2.1×10 ⁵
	Meso	3.0×10 ⁷	3.0×10 ⁷	3.2×10 ⁴	1.5×10 ⁵	2.1×10 ⁴	7.6×10 ⁶	7.1×10 ⁷
Fungi	Meso	1.7×10 ⁵	5.0×10 ⁴	4.0×10 ⁴	3.0×10 ⁴	4.0×10 ⁴	5.6×10 ⁴	4.1×10 ⁴

a: Thermophile, b: Mesophile.

Table 8. Changes of microorganisms during composting of A1-35.

Microorganisms		Composting days						
		1	8	15	22	29	36	43
Bacteria	Ther	4.1×10 ⁴	2.0×10 ⁵	3.3×10 ⁶	9.5×10 ⁷	4.1×10 ⁸	2.7×10 ⁷	5.1×10 ⁴
	Meso	4.0×10 ⁸	1.1×10 ⁹	3.6×10 ⁸	5.0×10 ⁸	4.4×10 ⁸	6.9×10 ⁸	4.7×10 ⁷
Actino-mycetes	Ther	3.2×10 ²	3.8×10 ²	2.5×10 ⁵	3.0×10 ⁶	3.9×10 ⁶	4.3×10 ⁷	3.7×10 ⁶
	Meso	4.0×10 ⁶	7.0×10 ⁶	3.6×10 ⁷	7.8×10 ⁶	1.7×10 ⁶	3.6×10 ⁶	4.1×10 ⁶
Fungi	Meso	1.1×10 ⁴	7.0×10 ⁴	3.0×10 ³	4.0×10 ⁴	1.3×10 ⁴	1.5×10 ⁴	2.1×10 ⁴

a: Thermophile, b: Mesophile.

Table 9. Changes of microorganisms during composting of Al-45.

Microorganisms		Composting days						
		1	8	15	22	29	36	43
Bacteria	Ther	3.0×10^4	4.0×10^5	4.0×10^5	6.8×10^7	8.4×10^7	2.7×10^7	4.0×10^6
	Meso	1.4×10^8	1.6×10^8	8.0×10^9	4.9×10^8	1.8×10^9	6.9×10^8	7.4×10^9
Actino- mycetes	Ther	3.0×10^3	8.0×10^4	4.0×10^4	4.2×10^7	5.4×10^6	1.9×10^6	1.8×10^5
	Meso	8.0×10^6	4.0×10^7	1.8×10^9	5.7×10^6	6.1×10^6	4.6×10^5	5.6×10^5
Fungi	Meso	4.0×10^3	7.0×10^4	8.5×10^4	6.0×10^3	4.0×10^4	9.2×10^4	4.1×10^4

a: Thermophile, b: Mesophile.

3에 제시한 바와 같이 Al-35 및 Al-45에 비해 현저히 높은 수준의 CEC 함량을 보여 주고 있으며, 이는 고온성 세균들의 활발한 분해 활동에 기인한 것으로 추정된다.

4. 결 론

도시하수 슬러지와 톱밥을 혼합한 부원료에 대하여 alum 슬러지를 건물중 기준으로 0, 25, 35 및 45%로 혼합하여, 강제송풍방식으로 퇴비화 실험을 한 결과는 다음과 같다.

1. Alum 슬러지를 0%, 25% 혼합한 처리구는 고온성 세균 및 방선균의 활발한 분해작용으로 인하여 20일 이후 55°C 이상의 고온을 유지한 후 40일 이후 안정화되었으나, 35%, 45%처리구는 55°C 이상의 고온을 유지하지 못하였다.
2. C/N율은 4개처리구가 모두 감소하는 경향을 보였다.
3. pH는 모든 처리구가 초기 약 20일 정도까지 서서히 증가한 후 점차 감소하여 중성범위에 서안정화 되었다.
4. CEC는 alum 슬러지를 0%, 25% 혼합한 처리구에서 22일까지 급격히 증가하여 70 me/100g까지 증가하였으나, 35%, 45% 처리구는 큰 변화를 보이지 않았다.

이상과 같은 결과로 볼때 퇴비화를 위한 alum 슬러지의 혼합 비율은 25%까지 가능할 것으로 판단되었다.

참 고 문 헌

- 1) 농업진흥청 농업기술연구소. 1998. 토양화학 분석법.
- 2) 임동규, 정이근, 신제성, 한기학. 1991. 우분의 유기질비료화 연구. III. 부숙도 기준 설정. 한국토양비료학회지, 24(4), 278-285.
- 3) Almendros, G., Frund, R., Gonzalez-Vila, F.J., Haider, K.M., Knicker, H. and Ludemann, H.D. 1991. Analysis of ^{13}C and ^{15}N CPMAS NMR-spectra of soil organic matter and composts. Federation of European Biochemical Societies, 282(1), 119-121.
- 4) Baumann, P.G. and McMillon, R.T. 1987. Anaerobic sludge digestion. Manual of Practice No. 16 Second Edition. Techna Type, Inc., 55-80.
- 5) Elserafy, Z.M., Sonbol, H.A. and Eltantawy, I.M. 1980. The problem of water hyacinth in rivers and canals. I. Production of compost from

- plant. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 26(1), 135-138.
- 6) Elserafy, Z.M., Sonbol, H.A. and Eltantawy, I.M. 1980. The problem of water hyacinth in rivers and canals. II. Physicochemical properties of humic substances occurring at various degrees of humification of the composted weed. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 26(3), 399-401.
 - 7) Finstein, M.S, and Morris, M.L. 1975. Microbiology of municipal solid waste composting. *Adv. appl. Microbiol.*, 19, 113-151.
 - 8) Harada, Y. and Inoko, A. 1975. Cation-exchange properties of soil organic matter. I. Effect of conditions for the measurement on cation-exchange capacity values of humic acid preparations. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 21(4), 361-369.
 - 9) Harada, Y. and Inoko, A. 1980. Relationship between cation-exchange capacity and degree of maturity of city refuse composts. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 26(3), 353-362.
 - 10) Harada, Y. and Inoko, A. 1980. The measurement of the cation-exchange capacity of composts for the estimation of the degree of maturity. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 26(1), 127-134.
 - 11) Harada, Y. and Inoko, A. 1981. Maturing process of city refuse compost during piling. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 27(3), 357-364.
 - 12) Jakobsen, S.T. 1992. Chemical reactions and air change during decomposition of organic matters. *Resources, Conservation and Recycling*. 6, 259-266, Elsevier Science Publishers B.V..
 - 13) Jimenez, E.I. and Garcia, V.P. 1989. Evaluation of city refuse compost maturity—A review. *Biological Wastes*, 27, 115-142.
 - 14) Levi-Minzi, R. and Riffaldi, R. 1988. Chemical differences between fresh and composted municipal wastes. *Agricoltura Mediterranea*, 118, 273-279.
 - 15) Levi-Minzi, R. Riffaldi, R., and Saviozzi, A. 1986. Organic matter and nutrients in fresh and mature farmyard manure. *Agricultural Wastes*, 16, 225-236.
 - 16) Manios, V.I., Tsikalas, P.E. and Siminis, H.I. 1989. Phytotoxicity of olive tree compost in relation to the organic acid concentration. *Biological Wastes*, 27, 307-317.
 - 17) Riffaldi, R., Levi-Minzi, R., Pera, A. and De Bertoldi, M. 1986. Evaluation of compost maturity by means of chemical and microbial analyses. *Waste Management & Research*, 4, 387-396.
 - 18) Riffaldi, R., Levi-Minzi, R. and Saviozzi, A. 1983. Humic fractions of organic wastes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 10, 353-359.
 - 19) Riffaldi, R., Levi-Minzi, R., Saviozzi, A. and Capurro, M. 1992. Evaluating garbage compost. *Biocycle*, January, 66-69.
 - 20) The composting council, 1993. Composting facility operating guide. First

- Edition. The composting council, Alexandria, Virginia, 53-60.
- 21) Vallini, G. and Pera, A. 1989. Green compost production from vegetable waste separately collected in metropolitan garden-produce markets. *Biological Wastes*, 29, 33-41.
- 22) Vleeschauwer, D.D., Verdonck, O. and Assche, P.V. 1981. Phytotoxicity of refuse compost. *Biocycle*, January/February, 44-46.
- 23) Wong, M.H. 1985. Phytotoxicity of refuse compost during the process of maturation. *Environmental Pollution (Series A)*, 37, 159-174.
- 24) 吉田 重方, 鬼頭 誠 1992. 浄水場發生土と刈取り雑草殘渣を材料とした培養土の簡易製造. *資源環境對策*, 28(3), 215-220.
- 25) 井ノ子昭夫, 原田靖生, 菅原和夫 1982. 都市廢棄物コンポスト化製品の農業利用-腐熟度の觀點から-. *日本農業研報 B*, 33, 165-213.