

하수슬러지 퇴비화 기술



조재경 / 현대엔지니어링(주) 환경기술연구소 팀장, 폐기물관리 기술사



목 차

1. 서론

2. 하수슬러지 발생 및 처리 현황

1. 발생현황
2. 처리 현황

3. 퇴비화와 하수슬러지의 성상

1. 농축슬러지와 소화슬러지의 유기물 함량
2. 응집제의 종류에 따른 유기물의 함량
3. 기타 슬러지의 성상

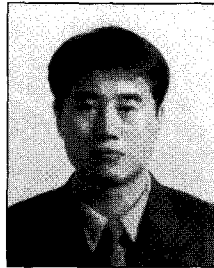
4. 파일럿 플랜트 (1톤/일) 장치를 이용한 하수슬러지 퇴비화

1. 실험방법 및 장치
2. 실험결과 및 토의

5. 생성퇴비를 이용한 식물재배 실험

1. 개요
2. 실험방법
3. 실험 결과 및 고찰
4. 식물의 중금속 측정 결과

6. 결론



5. 생성퇴비를 이용한 식물재배 실험

5.1 개요

하수슬러지는 질소, 인을 포함하여 작물에 필요한 미량요소 등을 포함하고 있고, 또한 다량의 유기물을 함유하여 양분공급자재, 지력배양자재로서 토지생산력의 증진에 도움이 될 수 있다. 그러나 하수슬러지는 공장폐수 등에 포함되어 있는 중금속 등 작물의 생육을 방해하는 물질 혹은 인체에 유해한 물질을 함유하는 경우가 있다. 이 때문에 사용하는 방법에 따라서는 중금속 등의 과잉으로 축적될 염려가 있다. 따라서 하수슬러지를 농지에 환원하는 경우에는 하수슬러지의 사용에 따른 작물에 대한 영향정도 및 연속적으로 사용하는 것에 대한 영향을 파악하는 것이 중요하다.

본 장에서는 본 연구의 실험과정에 서 생성된 퇴비를 이용하여 식물실험을 통한 하수슬러지의 유용성에 대하여 밝히는 것을 목적으로 하였다.

5.2 실험방법

본 실험에서는 다른 유기물의 영향을 최소화하기 위하여 토양을 선별하여 이용하였으며, 다른 유기물

하수슬러지 퇴비화

이 거의 없는 사질토를 이용하였다. 실험용 채소는 배추와 열무로 하였으며, 퇴비화된 하수슬러지의 시비면적은 각구역당 가로, 세로 1m로 정하였다. 또한 하수슬러지 퇴비의 시비량은 단위면적당 blank, 1kg, 2kg, 4kg으로 하였으며 식물재배실험에 이용된 밭의 모양은 다음 [그림 11]과 같다. 실험은 5~7월에 걸쳐 약 8주동안 실시하였으며, 실험에 필요한 자료를 수집하기 위하여 1주에 1회씩 일정량의 식물을 취하여 분석하였다. 분석은 줄기의 길이와 뿌리의 길이를 측정하였으며, 최종 실험이 끝난 다음에 식물체내에 중금속의 축적여부를 조사하였다.

배추	배추	배추	배추
퇴비시비량	퇴비시비량	퇴비시비량	퇴비시비량
Blank	1kg/m ²	2kg/m ²	4kg/m ²
열무	열무	열무	열무
퇴비시비량	퇴비시비량	퇴비시비량	퇴비시비량
Blank	1kg/m ²	2kg/m ²	4kg/m ²

[그림 11. 하수슬러지 퇴비의 시비량에 따른 밭의 모양]

5.3 실험결과 및 고찰

실험이 진행되는 동안 매주 각종 식물검체에 대하여 잎, 줄기, 뿌리의 길이를 측정하였다. [표 6]은 측정자료를 모두 합하여 나타낸 값이다. 초기에는 배추, 열무 모든 곳에 시비량이 적은 곳이 Blank보다 좋은 값을 보였으나, 실험이 진행됨에 따라 시비량이 많은 곳에 높은 값을 보이고 있다. 이것은 초기에 유기물의 과다에 의하여 저해를 받았으나, 시간이 지나면서 살수 등에 의하여 저해성분이 빠져나가 순수유기물이 식물의 생육에 기여함을 알 수 있다. 이것은 단지 성장값을 나타내는 것으로서, 초기의 발아율을 보면 유기물을 많이 시비한 곳에서 발아율이 낮은 경향이 있었다.

[표 6. 매주 측정된 식물검체의 잎, 줄기, 뿌리 길이의 합계]

구분	2 주 차		3 주 차		4 주 차		5 주 차	
	열 무	배 추	열 무	배 추	열 무	배 추	열 무	배 추
Blank	11.1	6.7	18.5	10	22.2	15.6	30	20.3
1kg/m ²	19	11.1	29.2	13.9	42.5	28	44.6	36.5
2kg/m ²	17.1	10	27.5	18.6	49.4	29.2	59.4	40.5
4kg/m ²	19.2	10.1	28.7	13.2	54.9	25.8	82.7	34.9

5주차에서 식물검체의 무게를 측정하여 [표 7]에 나타냈다. 배추의 경우에는 2kg을, 열무는 4kg을 시비한 곳이 가장 좋은 값을 보였다.

[표 7. 5주차 배추, 열무 무게 측정값]

구분	배 추	열 무
Blank	40g	50g
1kg/m ²	210g	270g
2kg/m ²	400g	480g
4kg/m ²	350g	580g

[그림 12]는 5주간의 실험기간동안 열무의 성장 상태를 나타낸 것으로 그림에서 알 수 있듯이 하수슬러지 퇴비를 2kg 시비했을 때의 성장속도가 가장 빨랐으며, blank와도 약 2배 이상의 차이가 남을 볼 수 있다. 2~3주에 측정 한 결과를 보면, 하수슬러지 퇴비 1kg, 2kg, 4kg을 시비한 것들에 대하여 열무의 성장이 거의 차이가 없지만 4주가 지나면서 4kg 시비한 것이 좋은 성장상태를 보여주고 있다. 5주가 되면서 가장 성장이 좋았던 4kg 시비한 밭의 열무들이 시들어 버리는 현상이 발생되었으나 상대적으로 2kg을 시비한 것은 성장은 비록 4kg에 비해 작았지만 상태가 싱싱하였음을 알 수 있다. 따라서, 1m²에 하수슬러지 퇴비 2kg을 시비한 밭의 열무들이 성장 속도 및 상태가 가장 좋았으며, 하수슬러지 퇴비를 시비하지 않은 밭의 열무들과는 확연한 차이가 있음을 알 수 있다.

잎의 길이에 대해서도 관찰한 결과 퇴비를 시비하지 않

하수슬러지 퇴비화 기술

은 blank와 퇴비를 시비한 것과는 잎의 길이에 있어서 약 20cm정도 차이가 남을 알 수 있었으며 잎의 색깔도 blank에서는 연한 녹색을 띄면서 잘 성장하지 못함을 볼 수 있었다. 4kg 시비한 밭의 열무들은 발아시기는 빠르지 않았지만 성장하면서 줄기도 굵고 잎의 색깔도 진한 녹색을 띄었으나 4주가 지나면서 영양분 과다로 인하여 잎이 오히려 성장하지 못하고 시들어 버리는 현상을 볼 수 있었다. 그러나 2kg 시비한 밭의 열무들의 상태를 보면 4kg 시비한 열무들과 거의 비슷하였으며 5주가 되면서도 계속 성장함을 알 수 있었다.

뿌리의 경우에 있어서는 blank와 하수슬러지 퇴비를 시비한 것과는 길이에서 많은 차이가 없었지만 굵기와 크기로 보았을 때는 많은 차이가 있었다. 전체적으로 3주까지는 대체로 비슷하게 자랐으며 4주가 지나면서 하수슬러지 퇴비 4kg을 시비한 밭의 열무가 약 5cm정도 자랐지만 5주가 되어서 더 이상 성장하지 못함으로써 퇴비의 영향이 많았다는 것을 알 수 있었다.

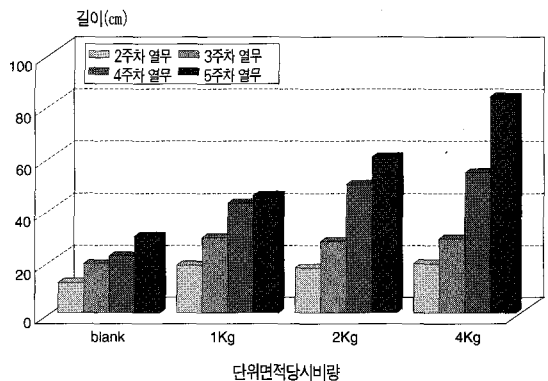
뿌리의 굵기를 보았을 때, Blank의 경우는 마치 실과 같이 얇은 상태였으나 퇴비를 시비한 밭의 열무들의 뿌리는 직경 2.5~4cm정도로 시비하지 않은 blank와는 큰 차이가 있었다.

[그림 13]은 5주간의 실험기간동안 배추의 성장 상태를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 2주가 지나면서 하수슬러지 퇴비 1kg, 2kg, 4kg을 시비한 밭의 배추들은 거의 비슷하게 성장해 있었지만 2kg을 시비한 밭의 배추들이 약 1~2cm정도 더 잘 자랐고, blank와는 약 3~4cm의 차이가 남을 알 수 있었다. 3~4주가 되면서 blank와 시비한 밭의 배추들과는 성장이나 상태 등이 큰 차이가 있었으며, 1kg, 4kg 시비한 것은 성장에 약간의 굴곡을 보여 주고 있지만 서로 비슷하게 성장하였고 2kg을 시비한 밭의 배추들은 일정한 성장속도를 보여 주고 있다. 5주가 되면서 1kg, 4kg 시비한 것과는 약 4~5cm정도의 차이가 남을 알

수 있었고 blank와는 약 2배 이상의 차이를 보여주고 있다. 이상과 같은 결과로 볼 때 1m²에 하수슬러지 퇴비 2kg을 시비한 밭의 배추들이 성장속도와 상태가 가장 좋았음을 알 수 있었으며 하수슬러지 퇴비를 시비하지 않은 밭의 배추들과는 확연한 차이가 났음을 알 수 있었다.

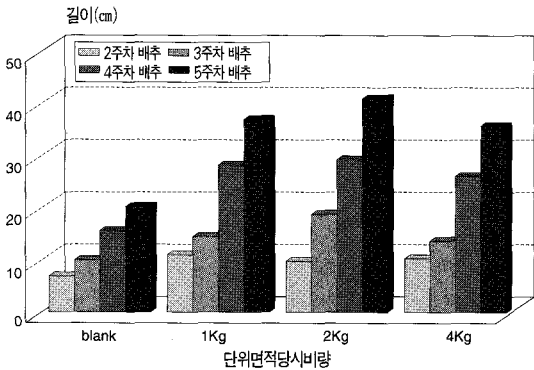
잎의 경우에서도 하수슬러지 퇴비 1kg, 2kg, 4kg을 시비한 밭의 배추가 blank와는 잎의 색깔에서도 많은 차이가 있었으며 특히 blank에서 발아시기는 비슷했지만 잎의 색깔도 연한 녹색을 띄었다. 퇴비를 시비한 밭의 열무들은 발아시기, 성장속도 등이 거의 동일하게 자랐지만 4주가 지나면서 4kg 시비한 밭의 열무들은 영양분 과다로 인해 더 이상 성장하지 못함을 알 수 있었다.

그리고 뿌리의 경우에서도 전체적으로 뿌리의 길이에서는 4주까지는 서로 비슷하게 자라고 있었으나 하수슬러지 퇴비를 시비하지 않은 blank는 퇴비를 시비한 밭의 배추보다 뿌리가 현저하게 얇았으며 잔뿌리도 많았다. 여기서도 퇴비 2kg을 시비한 밭의 배추의 뿌리가 성장이 좋았으며 대체로 퇴비를 시비한 밭의 배추들이 뿌리가 굵고 blank밭의 배추보다 잔뿌리가 많지 않음을 알 수 있었다.



(그림 12. 열무의 총길이로 본 성장속도)

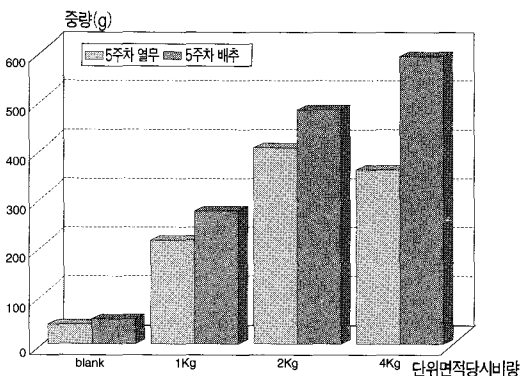
우리 나라 하수처리장에서 발생하는 대부분의 탈수슬러지에 대하여 중금속의 농도를 측정해 본 결과, 공장이 입지 되어 있지 않은 농촌과 도시지역의 경우에는 중금속의 농도가 문제되지 않는 것으로 검토되었으며, 공장 등이 밀집되어 있는 공업지역의 경우에는 높은 농도의 중금속이 검출되어 퇴비화에는 적합하지 않은 것으로 확인되었다. 중금속농도는 하수관거의 정비 및 건전지 및 수온온도계의 사용억제에 의하여 점진적으로 하수내의 농도가 저하될 것으로 예상된다.



(그림 13. 배추의 총길이로 본 성장속도)

(그림 14)는 열무와 배추에 대하여 5주가 경과되었을 때 각각 5개씩 시료를 취하여 각각의 무게를 달아 측정하여 평균값을 산출한 그림이다.

우선 배추의 중량을 측정한 결과, 배추는 하수슬러지 퇴비 2kg을 시비했을 때가 무게가 가장 많이 나갔고 열무의 경우에는 하수슬러지 퇴비 4kg을 시비했을 때가 많이 나갔으며 blank와는 약 530g이 차이가 났다. 여기서 blank와 하수슬러지 퇴비를 시비한 것과는 약 10~11배의 차이가 남을 알 수 있었고 퇴비량에 따라 중량의 차이가 많았기 때문에 퇴비의 식물에 대한 효과를 확실히 증명할 수 있었다.



(그림 14. 배추와 열무의 중량 측정)

5.4 식물의 중금속 측정결과

식물 재배시 퇴비의 시비효과가 입증되었긴 했지만 식물 내에 중금속의 함유율의 정도를 알아보기 위해 원자흡광광도계를 이용하여 중금속을 측정하였고, 전처리로서는 회화에 의한 유기물분해법으로 실험하였다. 실험결과 퇴비 시비를 하지 않고 재배한 식물과 퇴비를 1, 2kg씩을 시비한 식물과의 중금속 함유량은 미소한 차이를 나타냈으나, 퇴비를 4kg 시비한 식물은 중금속이 다소 높은 경향을 나타내고 있었다(표 8). 그러므로 퇴비를 시비할 경우 2kg/m² 정도가 적당하다고 할 수 있다.

(표 8. 식물의 중금속 측정결과)

(단위 : mg/kg Dry Solid)

구분	열무 B	열무 1kg	열무 2kg	열무 4kg	배추 B	배추 1kg	배추 2kg	배추 4kg
Fe	21.4	28.6	27.2	113.0	32.0	46.4	44.0	83.8
Cu	1.2	1.2	2.8	4.0	2.2	2.8	3.8	4.8
Cr	1.0	1.0	3.4	9.4	2.8	3.8	5.2	6.0
Cd	0.6	1.0	0.8	1.0	0.8	0.8	1.0	1.0
Pb	2.6	4.0	4.6	5.4	4.8	6.0	5.6	6.8

6. 결 론

우리 나라에서는 거의 대부분 단순 매립에 의존하여 처리되고 있는 하수슬러지는 하수처리율이 계속 증가함에 따라 매년 증가할 것으로 예상되며, 이와 동시에 매립지의 고갈과 매립지 확보의 어려움에 직면하게 될 것이다. 즉 이제는 하수슬러지의 매립이 한계에 이르러 새로운 처리방법의 모색이라는 전환기에 들어서 있다. 현재 우리 나라 각 하수처리장의 현장조사에서도 처리·처분에 많은 고민을 하고 있으며, 이러한 문제점을 해결하기 위하여 다방면으로 조사검토하고 있었다. 처리방안으로 검토하고 있는 것이 소각과 퇴비화이며, 이 중에서 대도시지역에서는 소각에 대한 비중이 높은 것이 확인되었다.

하수슬러지의 경우에는 중금속의 영향이 해결된다면 재자원화가 가장 효율적인 방안으로 검토된다. 우리 나라 하수처리장에서 발생하는 대부분의 탈수슬러지에 대하여 중금속의 농도를 측정해 본 결과, 공장이 입지 되어 있지 않은 농촌과 도시지역의 경우에는 중금속의 농도가 문제되지 않는 것으로 검토되었으며, 공장 등이 밀집되어 있는 공업지역의 경우에는 높은 농도의 중금속이 검출되어 퇴비화에는 적합하지 않은 것으로 확인되었다. 중금속농도는 하수관거의 정비 및 건전지 및 수은온도계의 사용억제에 의하여 점진적으로 하수내의 농도가 저하될 것으로 예상된다. 일본의 경우에는 발생원을 차단하기 위하여 수은이 많이 발생하는 치과 등에 침전조를 설치하여 농도를 많이 저하시킨 예가 있다.

퇴비화공정은 슬러지의 특성, 통기개량제의 사용여부, 퇴비의 반송율 등을 사전에 면밀하게 검토한 후에 장치를 설계·제작해야 한다. 우리 나라 하수처리장은 대부분 도심지역에 위치하고 있는 입지 여건에 따라 통기개량제를 주변에서 쉽게 구입이 불가능하다는 점으로부터 통기개량제를 혼합하지 않는 무첨가 시스템의 개발이 필요할 것으로 판단되며, 무첨가시스템 설계와 수분조정 및 공기공급을 원활하게 하기 위해서는 건조 및 반송율을 높이는 것이 중요한 공정이 된다.

하수슬러지를 이용하여 퇴비를 생산할 시에 가장 큰 문제점으로 등장하는 것이 생산된 퇴비를 사용하게 될 수요의 창출이고, 하수의 이미지가 오염물이라는 것으로부터 농가 등의 수요처에서 간단하게 사용을 해주지 않는다. 이러한 점으로부터 농가에서 시험채배 등을 거쳐 무해성을 입증해야 하고, 적극적인 홍보를 통하여 수요의 창출에 노력해야 한다. 일본의 경우에도 초기에는 수요의 창출이 어려웠으나, 최근에는 유기농법의 중요성이 인식되어 수요처가 개발이 되었으며, 전량 농가에서 사용을 하고 있다. 국내에서는 1997년 7월 15일자로 농림부에서 고시한 비료공정규격 개정고시안에 따르면, 읍·면단위 농어촌지역 생활하수오니는 유해물질 함유량 등이 사전 분석검토후에 퇴비의 원료로 사용가능한 물질로 분류되어 향후 하수슬러지의 퇴비화에 의한 자원화 가능성이 커지고 있다. ◀

하수슬러지 퇴비화 기술