

하수슬러지 퇴비의 식물생육에 대한 적정 시비량 검토

배재근, 정경철*, 광노혁*, 조재경*

서울산업대학교 환경공학과, *현대건설(주) 기술연구소

Investigation on optimal amendment amounts of sewage sludge compost to soil for useful cultivation of a plant

Chae-Gun Phae, Kyong-Chul, Joung*, No-Hyuk Kwak*, Jae-kyoung Cho*

Department of Environmental Engineering, Seoul National University of Technology
*Hyundai Engineering & Construction Co., Ltd, Technology Research Center

ABSTRACT

The effect of compost to force the cultivation using various soil and vegetation was investigated 5 times in the field for 4 years. Sewage sludge compost was validated to be useful fertilizer for the growth of a plant, and the optimal amendment amounts of compost to soil depended on the kinds of soil and vegetation, and the organic contents of compost. In the case of compost with high organic content, the optimal amended compost weight was 0.12t/are in fertile-dark brown(eutrophic) soil, 0.2t/are in sandy soil(trophic) and 0.4t/are in infertile-dark brown(oligotrophic) soil, respectively. In the case of compost with low organic content, on the other hand, the amentments of compost up to 0.6t/are was allowable without negative effect on the applied vegetation. Consequently, it can be believed that the sewage sludge compost is useful fertilizer, if keep the optimal amendment amounts(0.4t/are.year) to improve soil on cultivation of vegetation.

Key Words : Sewage sludge compost, Optimal amendment weight, Plant test

초 록

본 연구는 하수슬러지 퇴비를 이용하여 4년간 5차에 걸쳐 다양한 토양 및 식물에 대한 식물실험을 수행한 결과, 하수슬러지 퇴비가 식물성장에 유용한 것으로 판명이 되었으며, 그 시비량은 토양종류, 하수슬러지내의 유기물함량, 식물에 따라 많은 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 연구를 통하여 얻어진 적정시비량은 비교적 유

기물함량(46%)이 높은 S하수처리장의 하수슬러지 퇴비를 이용한 사질토양인 빈영양토양에서는 0.2톤/아르(a)였으며, 부영양토인 흑갈색 토양에서는 0.12톤/아르(a). 빈영양토양인 흑갈색에서는 0.4톤/a가 적정한 것으로 판명이 되었다. 또한 비교적 유기물의 함량이 낮은 N하수처리장의 하수퇴비와 빈영양토양에서의 5차 실험 결과에서는 시비량이 0.6t/a로 상대적으로 많아도 된다는 결과가 얻어졌다. 이러한 실험결과를 이용하여 유기물함량 및 토양의 종류에 따라 시물레이션을 실시한 결과, 1회 시비량은 0.2t/a로 계산되었으며, 연간 2회 시비의 연작에 대한 영향을 고려한다면 연간 약 0.4t/a가 시비제한 최적량으로 결론내릴 수 있었다. 이러한 값은 유기물함량과 토양종류에 따른 영향을 상호보완한 값으로 식물에 대한 성장저해현상을 최소화하는 것이 가능하다.

주제어 : 하수슬러지 퇴비, 식물실험, 최적시비량

I. 서론

하수슬러지는 폐수처리과정중에 발생하는 미생물의 잔해로서 슬러지내에는 유기물 및 각종 미량 원소, 질소성분을 포함하고 있어 유용한 비료로서 이용이 가능하다. 현재 외국에서는 생슬러지 자체를 농지환원이 가능하게 법을 제정해 두고 있으며, 우리나라보다도 규제되는 유해물질의 농도가 높게 설정되어 있어, 어떠한 하수슬러지도 농지환원이 가능하게 되어 있다. 그러나 우리나라의 경우 도시에서 발생하는 폐기물을 농촌으로 반입하는 것에 대한 기피현상에 의하여 적극적으로 수용이 되고 있지 않다. 하수슬러지를 폐기물의 관점으로 볼 것인가 혹은 유용한 자원으로 볼 것인가에 따라 슬러지의 농가반입에 대한 재고가 가능하다. 최근에 폐기물관리법내에 2001년도부터 매립지 반입이 금지됨에 따라 환경부 자체법에 의하여 하수슬러지를 퇴비화하여 비농업지역을 대상으로 사용하는 방안이 적극 검토되고 있으며, 관계되는 관련사항을 검토하여 머지않아 고시될 예정이다.

현재 농민들의 자의에 의하여 하수슬러지가 농지로 반입되는 사례가 있으며, 대부분 사용에 있어서 효과가 있다는 의견을 제시하고 있다. 반면에 일부 농가에서는 하수슬러지 시비에 의하여 식물에 대한

악영향이 있었다는 사례도 있다. 이러한 일부 농가에서의 피해사항을 분석해 보면 대부분이 과량시비에 의한 식물저해 현상이었다.

하수슬러지를 재활용하고 있는 선진각국은 하수슬러지를 이용한 식물실험을 통하여 그 유용성을 보고하고 있으며, 이러한 실험을 기반으로 하여 각종 가이드라인을 설정하여 두고 있다. 하수슬러지는 제조방법에 따라 성상에 차이가 있어 그 시비량이 크게 변화할 수 있다.

즉 하수슬러지의 퇴비로서의 유용성이 인정되고 있으나 사용방법에 문제가 있어 오해의 소지가 존재한다. 본 연구에서는 하수슬러지의 농지이용을 전제로 식물에 대한 영향정도를 검토했으며, 적정 시비량을 제시하기 위하여 연구를 수행하였다.

II. 실험방법

1. 실험에 이용한 하수슬러지 퇴비

본 연구에서 4년에 걸친 실험기간 동안에 S와 N하수처리장에서 배출되는 2종류의 하수슬러지 퇴비를 이용하였으며, 각 처리장의 입지에 따른 슬러지 성상에 차이가 있었다. S처리장은 도시지역의 분류하수관거가 설치된 지역으로 높은 유기물 함량을 보였으며, N처리장은 농촌지역에 위치하여 분

류하수관거가 정비되지 않아 낮은 유기물함량을 보였다.

하수슬러지 퇴비는 H건설(주) 기술연구소에서 개발한 퇴비화 장치에 의하여 제조된 것으로 10일 간에 걸쳐 1차발효를 하고, 나머지 1개월 정도를 부숙시킨 것을 이용하였다. 이용한 하수슬러지를 원료와 이용한 성상으로 구분하여 [Table 1]에 나타냈다.

2. 식물실험 방법

본 연구는 96년도부터 99년까지 4년에 걸쳐 총 5차의 실험을 진행하였다. 1. 2차실험은 사질토인 빈영양토에서 S처리장의 하수퇴비를 이용하여 식물성장과 초기 발아율에 미치는 영향에 대하여 검토했으며, 3차는 비교적 영양이 풍부한 흑갈색 발토양을 이용하여 S처리장의 하수퇴비로 실험을 했으며, 4. 5차는 같은 토양을 이용하여 하수처리장의 퇴비를 변화시켜 실험하였으며, 다년간 영양원의

Table 1. Sewage sludge compost used in plant cultivation.

Items		Allowed level	S treatment plant		N treatment plant	
			Raw material	Compost	Raw material	Compost
Water content(%)		-	78.3	32.2	80.3	30.2
Organic matter (dry base %)		20 ↑	68.3	42.4	43.3	35.2
Fertilizer component (dry base %)	Total N	2 factor 7% ↓	6.3	3.3	4.3	3.2
	PO4		2.3	2.2	3.2	3.4
	K		0.4	0.4	0.3	0.4
Heavy metal (Product base mg/kg)	As	50 ↓	N D	N D	N D	N D
	Cd	5 ↓	0.5	1.6	0.3	1.1
	Hg	2 ↓	N D	N D	N D	N D
	Pb	150 ↓	1.2	2.4	56	83.6
	Cr	300 ↓	7.7	68.3	123	186.3
	Cu	500 ↓	21.2	106.3	82.3	210.4

Table 2. Plant cultivation in various conditions such as soil, vegetation and supply of compost.

Experiment Steps	Used compost	Soil conditions			Plants	Inoculation weight and fields(ton/a)	Experiment date
		Soil	Nutrient	Location			
1 step	S treatment plant, saled products	Sandy	Trophic	S Univ.	Young radish	Blank, 0.15, 0.3, 0.45, 0.6	1996. 5
2 step	S treatment plant	Sandy	Trophic	S Univ.	Cabbage, Young radish	Blank, 0.1, 0.2, 0.4	1997. 5
3 step	S treatment plant	dark brown	Eutrophic	K prov.	Cabbage, Crown daisy, Spinach	Blank, 0.08, 0.12, 0.16, 0.2	1998. 5
4 step	S treatment plant	dark brown	Oligo-trophic	S City	Young radish, Spinach, Cabbage	Blank, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6	1999. 5
5 step	N treatment plant	dark brown	Oligo-trophic	S city	Cabbage, Radish, Leaf mustard	Blank, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6	1999. 9

시비가 없었던 영양이 없는 흑갈색토를 이용하여 실험하였다.

실험용 채소는 각 실험차수에 따라 달리 하여 배추, 열무, 시금치, 쪽가, 무등을 이용하였으며, 퇴비화된 하수슬러지 시비는 구역을 설정하여 면적당 시비량을 결정하였다. 하수슬러지 퇴비의 시비량은 아르(a)당 blank라는 무시비구를 설정하여 토양의 영양상태에 따라 [Table 2]에 나타낸 양을 시비하였다. 실험기간은 식물의 수확기간에 따라 다르게 실시했으며, 실험에 필요한 자료를 수집하기 위하여 가능한 1주에 1회씩 일정량의 식물을 취하여 표본분석을 하였다. 분석은 줄기와 뿌리의 길이를 측정하였고, 최종 실험이 끝난 다음에 식물체내 중금속의 축적여부를 조사하였다. 또한 1차실험에서 발아율은 1개의 시험지역 내에 열무의 씨앗을 80개정도 접종하여 발아율을 관찰함과 동시에 식물체의 성장정도를 측정하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. 빈영양토인 사질토에서의 하수슬러지 퇴비의 시비 효과(1,2차실험)

먼저 1차실험에서는 사질토를 이용하여 시비량을

0.1~0.4t/a로 조정하여 시비한 후에 발아율에 미치는 영향을 검토하였다. 다른 퇴비와의 발아율을 비교하기 위하여 시중에서 판매되고 있는 유기질비료와 음식물퇴비를 함께 실험하였다. 실험 시작 3~4일부터 서서히 싹이 트이기 시작하여 2주일 쯤에는 모든 시험구에서의 식물의 발아를 확인하였고, 이 시점에서 발아율의 측정결과를 [Table 3]에 나타내었다. 실험결과 전반적으로 양호한 발아율을 보였고 무시비구의 발아율이 낮은 것에 반하여 퇴비를 시비한 구에서 발아율이 높은 것으로 관찰되었으며 음식물퇴비의 경우에는 유기물비가 상승함에 따라 발아율이 낮아지는 경향이 관찰되었으나 하수슬러지 퇴비에서는 발아율에 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다. 그러나 퇴비의 시비량이 증가함에 따라 발육초기에 성장저해가 관찰되었다.

상기의 발아율 실험결과를 토대로 2차실험을 실시하였다. [Table 2]와 같은 방법으로 배추와 열무를 이용하여 실험한 결과, 초기에 시비량 즉 유기물이 과다할수록 성장저해가 일어났으나, 시간이 지나면서 살수 등에 의하여 저해성분이 빠져나가 유기물이 식물의 생육에 기여하는 현상이 관찰되었다. 5주간의 실험기간동안 열무의 성장 상태를 나타낸 [Fig 1]에서 알 수 있듯이 하수슬러지 퇴비를 0.

Table 3. Comparison of germination rates according to the amount of supply and kind of compost in radish cultivation.

Amount of supply	Germination	Saled products	Gabage compost	Sewage Sludge compost
Blank	Ger. EA/initial EA	67/80	73/80	71/80
	Rate(%)	84%	91%	89%
0.15t/a	Ger. EA/initial EA	73/80	75/80	71/80
	Rate(%)	91%	94%	89
0.3t/a	Ger. EA/initial EA	77/80	73/80	69/80
	Rate(%)	96%	91%	86%
0.45t/a	Ger. EA/initial EA	71/80	70/80	70/80
	Rate(%)	89%	88%	87%
0.6t/a	Ger. EA/initial EA	79/80	63/80	76/80
	Rate(%)	99%	78%	96%

2t/a 시비했을 때의 성장속도가 가장 빨랐으며 blank와도 약 2배 이상의 차이가 남을 볼 수 있다. 2~3주에 측정한 결과를 보면 하수슬러지 퇴비 0.1t, 0.2t, 0.4t을 시비한 것들에 대하여 열무의 성장은 거의 차이가 없지만 4주가 지나면서 0.4t을 시비한 것이 좋은 성장상태를 보여주고 있다. 5주가 되면서 가장 성장이 좋았던 0.4t을 시비한 밭의 열무들이 시들어 버리는 현상이 발생되었고, 이와 반대로 0.2t을 시비한 것의 성장은 비록 0.4t에 비해 작았지만 상태가 싱싱하였음을 알 수 있었다. 따라서 1아르(a)당 하수슬러지 퇴비 0.2t을 시비한 밭의 열무들이 성장 속도 및 상태가 가장 좋았으며, 하수슬러지 퇴비를 시비하지 않은 밭의 열무들과는 확실한 차이가 있음을 알 수 있었다.

[Fig. 2]는 5주간의 실험기간동안 배추의 성장상태를 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 2주가 지나면서 하수슬러지 퇴비 0.1t, 0.2t, 0.4t을 시비한 밭의 배추들은 거의 비슷하게 성장하였지만 0.2t을 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 등에 큰 차이가 있었으며, 0.1t, 0.4t을 시비한 것은 성장에 약간의 굴곡을 보

여 주고 있지만 서로 비슷하게 성장하였고 0.2t을 시비한 밭의 배추들은 일정한 성장속도를 보여 주고 있다. 5주가 되면서 0.1t, 0.4t.d 시비한 것과는 약 4~5cm 정도의 차이가 있었고, blank와는 약 2배 이상의 차이를 보여주었다. 이상과 같은 결과로 볼 때 1㎡에 하수슬러지 퇴비 0.2t을 시비한 밭의 배추들이 성장속도와 상태가 가장 좋았음을 알 수 있었으며 하수슬러지 퇴비를 시비하지 않은 밭의 배추들과는 확실한 차이가 있음을 알 수 있었다.

이와 같이 식물 재배시 퇴비의 시비효과가 입증되긴 했지만 식물내의 중금속의 함유율 정도를 알아보기 위해 원자흡광광도계를 이용하여 중금속을 측정하였고 전처리로서는 회화에 의한 유기물 분해법으로 실험하였다.

3. 부영양토인 흑갈색 토양에서의 식물실험(3차실험)

이전부터 지속적으로 퇴비를 투여하면서 식물경작을 해온 토양을 이용한 3차실험의 경우 이전에 퇴비의 시비가 많았다는 점에서 시비량을 대폭 줄여서 실험하였다. 3개월에 걸쳐 식물별, 주차별, 시비량별로 구분하여 줄기 및 뿌리부분을 측정하였으며, 뿌리 및 줄기부분의 10개체의 무게를 측정하였고, 주차별로 줄기부분의 길이를 측정하여 [Table

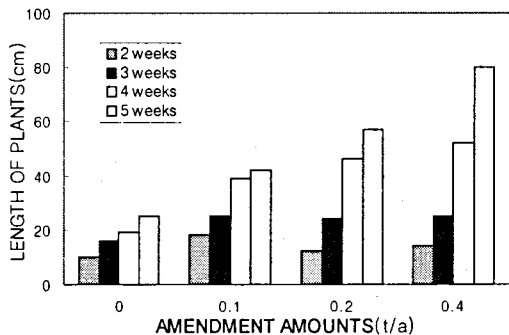


Fig. 1. Comparison of length according to the supply of compost and period of time in young radish cultivation.

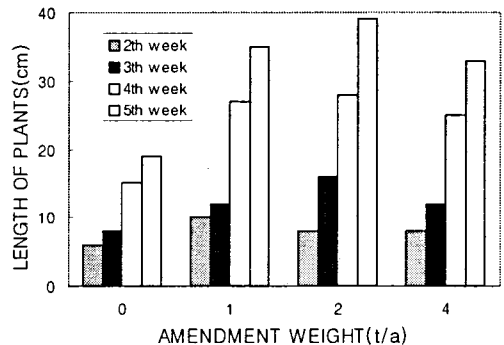


Fig. 2. Comparison of length according to the supply of compost and period of time in cabbage cultivation.

4)에 나타내었다.

대부분의 식물에서 8주차 및 10주차에 수확하기 알맞은 크기로 성장하였으며, 경향을 보기 위하여 12주차까지 측정을 계속하였다. 대부분의 식물에서 상관관계를 보였으며 시비량이 1아크(a)당 0.12t 전후에서 가장 높은 수확율이 관찰되었다. 이 시비량의 이상에서는 생육저해 현상이 관찰되었으며 발아율 및 발아시기 면에서도 떨어지는 현상이 나타났다. [Fig. 3]에는 10주차에 있어서 각 식물의 줄기 길이 측정결과를 나타내었다. 시비량의 변화에 따라 성장속도에 차이가 있는 것을 알 수 있으며 썩갯의 경우에는 0.08~0.16t에서 완만한 차를 보였으며 시금치의 경우에는 0.12t에서 가장 좋은 성장률을 보였다. 배추는 대부분 완만한 차를 보였으나 0.12t 이상에서는 성장률이 억제되는 현상이 관찰되었다. 이러한 줄기의 변화에 대하여 같은 주차 즉 10주차에 있어서 무게를 측정하여 [Fig. 4]에 나타냈다. 이 그림에 볼 수 있는 것과 같이 썩갯은 0.08t에서, 배추와 시금치는 0.12t에서 가장 높은 무게를 보였다. 이러한 결과는 줄기의 길이와 차이는

있으나 0.12t 전후가 적정시비량인 것을 알 수 있다. 또한 뿌리길이에 의한 성장정도를 판단하기 위하여 뿌리의 길이를 측정하였으나 뿌리의 길이는 성장과의 상관관계가 없었다.

4. 빈영양토인 흑갈색토양에서의 식물실험(4, 5차실험)

상기의 실험에서는 사질토와 부영양토인 흑갈색토양을 이용하여 실험한 관계로 시비량을 정확히 판정하는 것이 불가능하여 본 절에서는 빈영양토인 흑갈색토양을 이용하여 실험을 하였다. S처리장의 하수슬러지 퇴비를 이용한 4차실험 결과에서 얻어진 결과를 주차별로 줄기길이(Table 5)와 습량무게를 측정하여 [Table 6]에 나타냈다.

또한 측정된 값을 이용하여 배추의 길이변화를 [Figure 5]와 열무의 줄기길이 변화를 [Figure 6]에 나타냈다. 본 그림에서 알 수 있듯이 시비량과 주차가 증가함에 따라 식물의 길이도 증가하는 현상이 관찰되었고 열무와 배추에서 거의 같은 경향을 보였으며, 시비량이 0.4t/a인 시비구에서 가장

Table 4. Length of various shoots based on the amount of compost supplied. (average length of 10 shoots).

Items		4 weeks	6 weeks	8 weeks	10 weeks	12 weeks
Crown daisy (cm)	Blank	3.0	12.0	21.1	41.8	81.6
	0.08t/a	3.6	17	24.2	51.6	89.6
	0.12t/a	4.4	13.5	25.4	52.7	97.5
	0.16t/a	4.6	13.4	22.4	50.7	87.2
	0.2t/a	4.0	12.4	21.2	42.7	77.4
Spinach (cm)	Blank	6.1	11.7	14.4	16.9	30.7
	0.08t/a	9.9	13	17.6	18.3	32.5
	0.12t/a	9.7	18.1	19.1	25.0	39.8
	0.16t/a	8.5	13.4	15.5	21.6	26.0
	0.2t/a	7.2	13.3	14.4	19.9	25.5
Cabbage (cm)	Blank	7.4	14.3	19.9	24.2	26.5
	0.08t/a	6.5	16.6	21.4	26.3	29.4
	0.12t/a	7.9	17.3	21.8	27.8	30.7
	0.16t/a	9.0	16.2	21	23.2	29.1
	0.2t/a	8.6	15.4	17.7	22.3	29.4

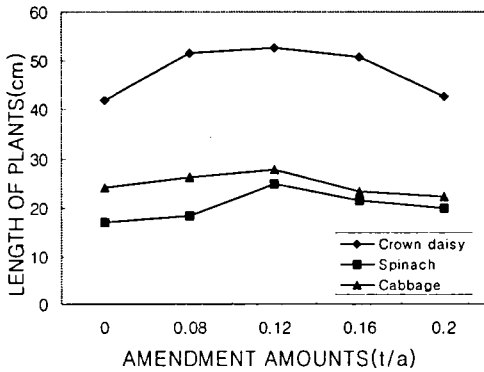


Fig. 3. Comparison of length according to the supply of compost after cultivations of various vegetation for 10 weeks.

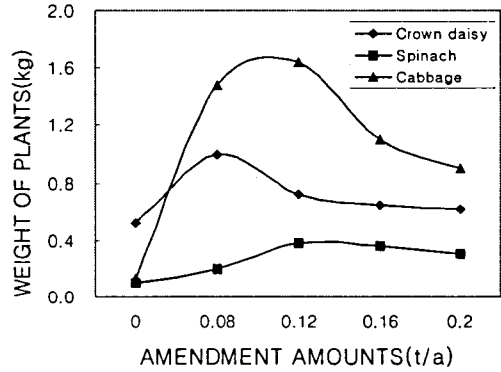


Fig. 4. Comparison of weight according to the supply of compost after cultivations of various vegetation for 10 weeks.

좋은 성장상태를 보였다. 퇴비를 시비하지 않은 무 시비구에 비교하여 배정도의 성장길이 차이가 있었다. 이러한 현상은 시금치를 재배한 곳에서도 관찰되었으며, 식물전체의 무게를 측정된 결과에서도 거의 같은 경향을 보여, 0.4t/a가 최적시비량인 것으로 확인되었다.

5차실험에서는 같은 토양에서 N시에서 생산한 하수슬러지 퇴비를 이용하였다. S시와 N시의 하수슬러지의 퇴비의 중요한 차이는 N시가 유기물의 농도가 낮다는 것이다. 유기물의 농도면에서 어떤 차이가 있는지에 대하여 검토하기 위하여 실험을 부

Table 5. Length of leafs according to the supply of compost and period of time in cultivations of various vegetation.

Items		Blank	0.1t/arc	0.2t/arc	0.4t/arc	0.6t/arc
Young radish (cm)	3 weeks	9.3	11.3	12.8	11.7	9.2
	4 weeks	15.1	20.4	22.3	22.0	21.8
	5 weeks	22.6	31.3	32.9	36.7	28.8
	6 weeks	24.9	34.6	37.1	41.4	37.0
Spinach (cm)	3 weeks	5.1	5.6	5.6	4.9	4.1
	4 weeks	6.3	6.5	8.1	7.3	4.8
	5 weeks	9.3	12.3	13.6	11.8	8.4
	6 weeks	14.2	17.5	17.4	18.4	13.9
	7 weeks	16.8	18.9	23.1	24.4	18.1
Cabbage (cm)	3 weeks	9.2	10.1	8.7	8.1	7.7
	4 weeks	14.6	17.0	15.8	17.9	16.5
	5 weeks	25.0	30.1	27.5	27.6	25.1
	6 weeks	26.3	34.1	32.2	33.1	30.9
	7 weeks	26.3	34.7	36.1	41.6	37.6

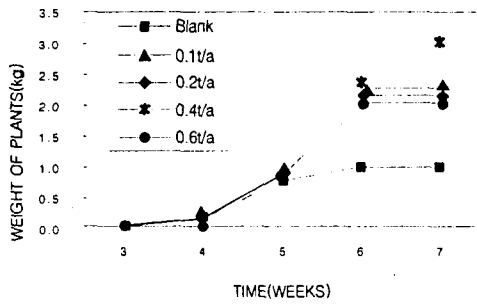


Fig. 5. Weight(wet base) of cabbage according to amended compost during 7 weeks.

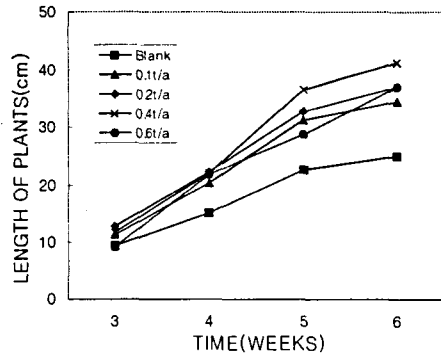


Fig. 6. Average length of radish leaf according to amended compost during 6 weeks.

가적으로 실시하였다.

그 결과를 [Fig 7]과 [Fig 8]에 나타냈다. 배추는 모종을 옮겨 심은 것과 씨뿌리기한 것으로 나누어 실험을 하였으며 모종을 옮겨심은 배추의 길이성장이 당연히 좋았으며 시비량의 변화에 따른 성장 정도는 같은 경향을 보였다. 갖의 경우는 시비량에 비례하여 성장이 좋은 것으로 나타나, 시비량이 많아도 거의 영향을 받지 않는 것으로 나타났으며, 열무와 배추의 경우에는 성장길이에는 크게 영향이 없

는 것으로 나타났으나, 무개면에서는 0.4t/a을 시비한 구가 가장 좋은 성장을 보였다.

5. 유기물의 함량과 토양종류에 따른 최적시비량의 검토

5차에 걸친 실험결과를 이용하여 유기물함량에 따라 얻어진 최적시비량에 대한 시뮬레이션 결과를

Table 6. Mass of leaves according to the supply of compost and period of time in cultivations of various vegetation.

Items		Blank	0.1t/are	0.2t/are	0.4t/are	0.6t/are
Young radish (g)	3 weeks	29.3	41.6	57.1	51.1	24.6
	4 weeks	129.5	250.9	335.1	295.8	293.3
	5 weeks	406.2	789.6	950.9	1206.9	556.7
	6 weeks	1141.3	1575.2	1383.4	2023.1	1372.8
Spinach (g)	3 weeks	2.8	2.8	2.9	2.1	1.25
	4 weeks	7.4	4.6	7.8	9.6	3.7
	5 weeks	15.1	22.5	29.7	33.1	16.2
	6 weeks	56.1	72.9	67.2	118.7	70.4
	7 weeks	66.2	73.2	125.4	187.7	70.6
Cabbage (g)	3 weeks	21.0	27.6	19.8	18.1	22.1
	4 weeks	153.2	199.2	170.2	156.2	50.4
	5 weeks	782.3	985.7	921.7	880.5	876.8
	6 weeks	988.8	2309.6	2175.7	2336.6	2031.4
	7 weeks	989.9	2311.5	2178.2	3074.4	2055.2

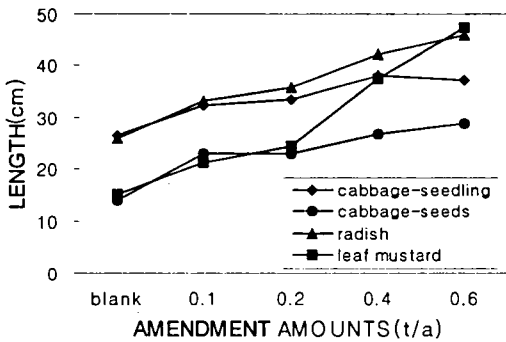


Fig. 7. Length of leaves according to amended compost after cultivation of various vegetation for 8 weeks.

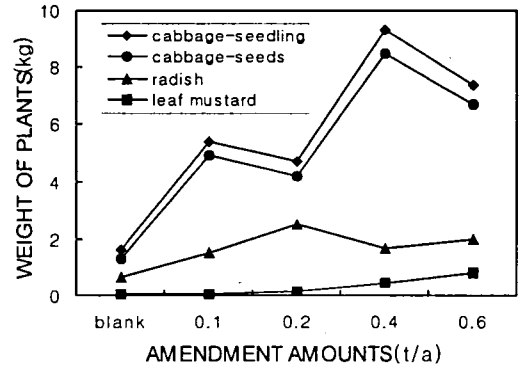


Fig. 8. Mass of plants according to amended compost after cultivation of various vegetation for 8 weeks.

[Fig 8]에 나타났다. 유기물함량이 낮은 N하수처리장의 퇴비를 이용한 빈영양토에서는 시비한계량이 0.6t/a였으며, 유기물의 함량이 높은 S하수처리장의 퇴비를 이용한 부영양토에서의 시비한계량이 0.08t/a정도인 결과로부터 최대 및 최소를 결정하고, 중간값은 실험에서 얻어진 값을 이용하여 1개의 선으로 정리하였다. 유기물량과 최적시비량이 직선이 아닌 결과가 얻어졌다. 즉 유기물의 함량이 낮은 것을 이용할수록 그 시비량은 다량이 요구되며, 시비량의 증가에 의하여 식물에 대한 영양정도가 적었고, 유기물의 함량이 높은 것을 토양에 시비할 때에는 반대로 적은량의 시비량이 요구되었으며, 유기물량의 증가에 따라 시비량의 한계가 좁아 시비량에 민감함을 알 수 있다. 즉 유기물함량이 적은 것을 시비할 때에는 많은 양을 시비하여도 식물에 큰 영향을 주지 않으나, 유기물함량이 높은 것을 시비할 때에는 그 영향에 있어 적은양 시비에도 민감함으로 주의할 필요가 있다는 것이 확인되었다. 유기물함량을 초기에 측정이 되지 않아 기본적으로 토양에 시비할 수 있는 양은 유기물함량이 평균값인 곳에서 약 0.2t/a로 계산되었다. 이 값은 1회에 시비하는 양으로서 봄, 가을에 2회 시비한다는 전제 조건에서 연간 0.4t/a가 적당한 것으로 추론되었다.

5차에 걸친 실험결과에 있어서 토양의 종류에 따

라 시비량에 현저한 차이가 있는 것으로 나타났으며, [Fig 9]에는 토양의 종류에 따른 적정시비량에 대하여 시뮬레이션하여 나타났다. 토양은 빈영양성과, 영양성, 부영양성 3단계로 나누었으며, 이전에 5차실험 기간에서 얻어진 적정시비량을 세로축으로 하여 나타낸 결과, 부영양토 0.1t/a으로부터 빈영양토 0.6t/a까지 직선이 얻어졌다. 이러한 결과로부터 평균값 즉 일반적으로 계속적으로 시비를 해온 토양을 영양토라고 간주할 시에 1회 0.2t/a, 연간 0.4t/a를 시비하는 것이 적절한 것으로 확인되었다. 이 량은 상기의 유기물의 함량과도 일치하는 것으로 토양 및 유기물함량이 불분명할 시, 즉 일반적인 토양에 대한 시비량을 권장할시에는 연간 0.4t/a가 적당한 것으로 판단된다. 그러나 실제 퇴비중에 함유되어 있는 유기물의 함량이 파악되고, 토양의 영양상태가 확실히 파악되어 있다면, 각각에 대한 영양정도를 다시 분석하여 시비량이 결정되어야 할 것이다.

IV. 결론

최근에 하수슬러지 유효이용의 방안으로서 퇴비화가 제시되고 있으며, 많은 연구자 및 기업체에서 연구를 진행하고 있다. 퇴비화시설 및 고속퇴비화

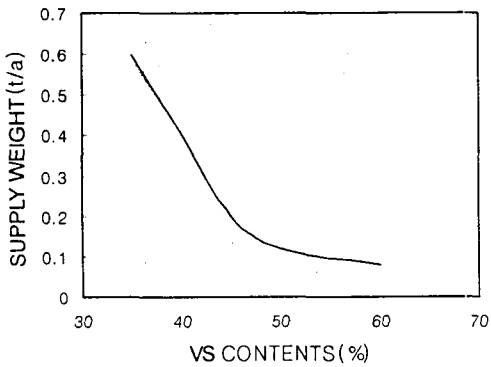


Fig. 9. Optimal amounts of supply to soil according to the organic contents of sewage sludge compost.

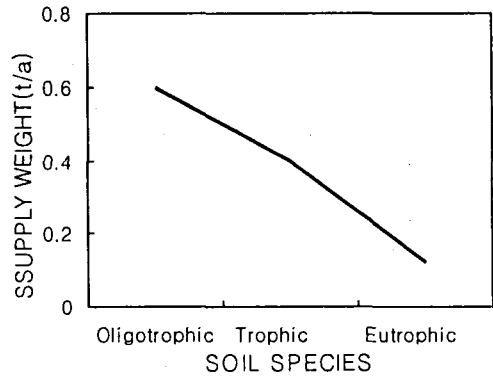


Fig. 10. Optimal amounts of supply to soil according to the trophic conditions of soil.

방법의 개발은 진행되고 있으나, 농지이용면에서 시비량에 대한 검토는 거의 되어 있지 않은 실정이다. 현재 각종 퇴비를 이용하고 있는 농가에서 퇴비 사용으로 인한 문제점중에 과량시비가 가장 많은 사례로 조사되고 있다는 점으로부터, 적정량에 대한 조사를 통하여 사용상에 지침을 정해둘 필요가 있다.

본 연구에서는 다양한 토양 및 슬러지 퇴비, 식물을 이용하여 4년간 5차에 걸쳐 식물실험을 수행한 결과, 하수슬러지 퇴비가 식물성장에 유용한 것으로 판명이 되었으며, 그 시비량은 토양종류, 하수슬러지내의 유기물함량, 식물에 따라 많은 차이가 있음을 확인할 수 있었다.

연구를 통하여 얻어진 적정시비량은 비교적 유기물함량(46%)이 높은 S처리장의 하수퇴비를 이용한 사질토양인 빈영양토양에서 0.2t/아르(a)였으며, 부영양토인 흑갈색 토양에서는 0.12t/아르(a), 빈영양토양인 흑갈색에서는 0.4t/a가 적정한 것으로 판명이 되었다. 또한 비교적 유기물의 함량이 낮은 N처리장 하수퇴비와 빈영양토양에서 5차실험한 결과에서는 시비량이 0.6t/a로 상대적으로 많아도 된다는 결과가 얻어졌다.

이러한 실험결과를 이용하여 유기물함량 및 토양의 종류에 따라 시물레이션을 실시한 결과, 1회 시

비량은 0.2t/a로 계산되었으며, 연간 2회 시비하는 연작에 대한 영향을 고려한다면 연간 약 0.4t/a가 시비제한 최적량으로 결론을 내릴 수 있었다. 이러한 값은 유기물함량과 토양종류에 따른 영향을 상호보완한 값으로 식물에 대한 성장저해 현상을 최소화하는 것이 가능하다.

하수슬러지의 유효이용을 위해서는 슬러지의 성장, 토양의 상태, 식물의 종류등을 종합적으로 판단하여 사용자가 적정용량을 판단해야될 것이다. 지금까지 각종 유기성퇴비를 시비하여 문제가 되었던 대부분의 장소는 과량시비가 원인이었던 것처럼, 본 하수슬러지 퇴비도 적정시비량을 지키면서 농업 생산에 이용시에는 유용한 생물자재로서 이용이 가능할 것으로 본다.

시사 : 본 연구는 환경부 G7과제로 수행되었습니다. 지원에 감사드립니다.

참고문헌

배재근, 심혁성, 광노혁, 조재경, 하수슬러지 퇴비화를 위한 신품정의 개발, 서울산업대학논문집, Vol 46, pp265-277, 1997

배재근, 조재경, 광노혁, 김동욱, 하수슬러지의 성

- 상분석에 의한 적정처리방안 검토, 한국폐기물학회 Vol 15, No 3, pp252-260, 1998
- 배재근, 박주석, 최종오, 하수종말처리장 슬러지의 광역처리방안에 대한 타당성조사·연구, 서울산업대학원 논문집, Vol 40, p477-493, 1994
- 곽노혁, 정경철, 조재경, 배재근, 하수슬러지퇴비의 식물에 대한 시비효과 및 시비량에 대한 검토, 한국폐기물학회춘계학술연구발표회, p55-58, 1999
- 배재근, 심혁성, 홍주경, 조재경, 하수슬러지의 부속도 및 안정화지표의 개발, 유기성폐자원화학회 춘계학술연구발표회, p1-13, 1999
- 배재근, 곽노혁, 조재경, 하수슬러지의 유효이용에 관한 각종 규제 및 품질기준에 관한 검토, 유기성폐자원화학회 춘계학술연구발표회, p45-63, 1999
- 정경철, 조재경, 곽노혁, 김동욱, 배재근, 1톤/일 처리규모하수슬러지 퇴비화 장치의 실증운전, 대한환경공학회 춘계학술연구발표회, p293-294, 1999
- 신항식, 황응주, 유기성폐기물의 자원화 가능성 및 퇴비 이용 전망 평가, 유기성폐자원화학회 6권 2호, p8-30, 1998
- 유영석, 장기운, 공극개선제의 혼합비율에 따른 제지·하수슬러지의 퇴비화과정중 이화학적 변화, 유기성폐자원화학회 6권 2호, p45-47, 1998
- C. James Martel, Katherine A. McComas, Biosolids and sludge management, Water Environment Research Vol. 69 No 4, p534-550, 1997
- R. G. DARMODY, J.E. FOSS, M. MCINTOSH, D.C. WOLF, Municipal Sewage Sludge Compost-Amended Soils : Some Spatiotemporal Treatment Effects, J. Environ. Qual., Vol. 12 No. 2 p231-236, 1983
- SALLY L. BROWN, RUFUS L. CHANEY, J. SCOTT ANGLE, ALAN J. M. BAKER, Zinc and Cadmium Uptake by Hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* and Metal Tolerant *Silene vulgaris* Grown on Sludge-Amended Soils, Environ. Sci. Technol., Vol. 29 p1581-1585, 1995
- “下水汚泥の 緑農地利用”, 下水汚泥資源利用協議會, 1983
- “下水汚泥の農地等への施用土壤の モニタリング 方法”, 下水道汚泥資源利用協議會, 1991
- “都市緑化における 下水汚泥の 施用指針”, 建設省都市局, 1995
- “たい肥等 特殊肥料に係る 品質保全基準について”, 日本下水道協會, 1994
- Ellen Z. Harrison, Land application of sewage sludges: an appraisal of the US regulations, Int. J. Environment and Pollution. Vol. 11 No. 1, 1999
- “폐기물자원화 기술개발: 하폐수슬러지의 퇴비화기술의 개발” 환경부G7보고서, 1998.