

표준재배에 따른 인공배지 및 인공토양의 농자재화를 위한 실용화연구

Study on the Practical Use of Artificial Media and Artificial Soil for Agriculture by Standard Planting

김 선 주 · 윤 춘 경 · 김 해 도* · 양 용 석 (건국대)
Kim, Sun Joo · Yoon, Chun Gyeong · Kim, Hae Do · Yang, Yong Suck

Abstract

We treat Sludge by heating methods with low pollution and high efficiency. Organic and inorganic components in Sludge can be almost removed through the heating treatment process, and the final products are called artificial soil or artificial media which are depended on temperature control. It can be recycled on the agricultural sites. Because it contained sort of organic matters while high heating process with addition.

To use them as agricultural materials, It need to know their characteristic transform in the nature. So we have planting bean and corn for two years with standard planting methods and to anticipate changing characteristics of artificial media and artificial soil by staying it natural condition , analyze it physical and chemical characteristics.

This study will be contributed to reduce mass environmental problems by the treatment of Sludge and make it possible application for a agriculture use.

I. 서 론

Sludge는 도시 지역의 상·하수 처리과정 중에 생산되는 부산물(by-product)이다. 현재 국내의 상·하수 처리과정이 미생물을 이용한 유기물의 분해이므로 분해된 유기물의 잔해가 모여 Sludge라는 거대한 미생물 덩어리(bio-solids)가 생성되게 된다. Sludge를 처리하는 방법은 이미 국·내외에 시험적인 방법들이 많이 나와 있지만 실용화되기 위해서는 비용 면이나, 시용 중에 발생하는 문제들이 산적해 있는 것이 사실이다. 가장 바람직한 방법은 환경오염물질인 Sludge를 재활용하는 방법이라고 볼 수 있다.

Sludge를 이용하여 재활용하는 방법은 현재 각국에서 다양하게 이루어지고 있고, 미국의 경우는 10여년전부터 주로 하수 슬러지를 그대로 농경지에 투입하기 위해 국토면적 및 새배작물, 농경지의 특징을 고려하여 연구한 후에 법률적으로 이를 해결하기 위해 40 CFR(Code of Federal Regulations) Part 503 Standards for Use and Disposal of Sewage Sludge(Feb. 1993)

을 공표하여 하수슬러지 농경지 유입시 기준량을 조절하고 있다. 우리나라의 경우는 해양투기가 금지된 이후 거의 90%를 매립에 의존하고 있으나, 현재 매립지는 거의 포화 상태에 이르렀고, 매립을 위해 Sludge를 처리하고 운반하는 비용도 상당히 많은 부분을 차지하고 있는 것이 사실이다.

본 연구에서는 김 등²⁾에 의해 연구한 환경친화적 인공배지 생산기술을 바탕으로 도시주변에서 발생하는 Sludge를 채집한 후, 열처리 방법에 따라 인공토양과 인공배지를 생산하고, 일반토양과 일정비율로 혼합한 혼합토양으로 식량작물인 콩과 옥수수를 표준 재배방법에 따라 재배하여 생장분석을 실시하였다. 그리고 자연상태에서의 슬러지에 함유된 성분의 물리, 화학적 거동을 분석함으로써 자연상태에서의 인공배지와 인공토양의 적응성을 평가하여 폐기물로만 여겨지던 슬러지를 농경지에 환원시키는데 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

2.1 실험재료 및 분석방법

슬러지는 서울주변의 상·하수를 처리하는 처리장에서 채취하였다. 슬러지의 함수비는 약 80%이었다. 이러한 상, 하수 슬러지를 경기도 여주 전국대학교 실습농장에 소성기계를 설치하여 슬러지 케익상태의 슬러지를 약 300℃의 회전소성로에 유입시켜 10분 정도 소성과정을 거치면 저온소성 토양을 생성한다. 이렇게 만들어진 저온소성토양(Artificial Soil)을 약 1,000 - 1,100℃의 고온소성로에 유입시켜 10분 정도 소성과정을 거치면 고온소성토양(Artificial Media)이 생성된다.²⁾ 본 실험의 소성과정중에서 이전의 작물적용성실험⁷⁾에서 보인 결과를 고려했을 때, 작물생장에 필요한 pH는 5.5 ~ 8.0⁹⁾ 정도를 유지하기 위하여 소성시 생석회는 사용하지 않았다. 이렇게 해서 만들어진 소성물을 일반토양과 10%, 20%의 혼합비로 섞은 후 이·화학식 특성을 분석한 것이 <Table 1>과 같다. 여기서 WH는 인공배지(Artificial Media)를 말하고, WL은 인공토양(Artificial Soil)을 의미한다. 또한 WH와 WWH로 상수 Sludge와 하수 Sludge를 구별하였다.

<Table 1> Characteristics of the Artificial Soil, Artificial Media and Upland

Class	pH	EC	OM	TN	TP	CEC	Specific gravity	Coefficient of permeability	Soil Class
Unit		μ S/Cm	%	%	mg/Kg	me/100g		cm/sec	
WH10	8.4	132.9	0.03	0.00	153.7	17.2	2.56	0.00293	sand
WH20	8.5	190.8	0.10	0.01	154.9	13.9	2.57	0.00488	sand
WWH10	7.6	144.4	0.20	0.01	229.9	12.8	2.56	0.00265	sand
WWH20	8.0	299.0	0.20	0.00	200.8	13.0	2.57	0.00396	sand
WL10	8.3	251.8	0.89	0.07	239.5	15.6	2.58	0.00469	sand
WL20	8.2	309.0	1.23	0.11	214.2	18.3	2.58	0.00374	loamy sand
WWL10	8.3	252.7	1.03	0.10	241.7	17.4	2.56	0.0046	sand
WWL20	8.2	292.0	2.09	0.20	203.9	18.1	2.6	0.00572	loamy sand
UP	8.5	213.3	0.20	0.01	1792.6	14.5	2.45	0.00529	sand

WH10 : Water High temperature 10%
 WH20 : Water High temperature 20%
 WWH10 : WasteWater High temperature 10%
 WWH20 : WasteWater High temperature 20%
 UP : Upland Soil(Control)

WL10 : Water Low temperature 10%
 WL20 : Water Low temperature 20%
 WWL10 : WasteWater Low temperature 20%
 WWL20 : WasteWater Low temperature 20%

이렇게 만든 혼합토양을 전국대학교 실습포장을 입차하여 작물생장 분석을 1차 년도⁷⁾ 연구에서 하였다. 1차 실험은 시험과정상 시간의 경과에 따른 자연상태에서의 인공배지의 성분을 분석하는데 있어 다른 요인들을 배제하기 위해 Pot를 사용하였고, 작물생장에 관하여 생장요인을 한정하기 위하여 시비를 하지 않고 작물을 재배하였다. 1차 작물생장 분석을 한 후에 Pot를 자연 상태 그대로 두어서 강우 및 풍화 등에 의한 소성물의 특성변화를 관찰하고, 표층재배 방식에 따라서 표층시비를 하고, 전년도 시험과의 동일성을 유지하기 위해 본 연구에서도 같은 공시 작물인 황금공과 찰옥수수를 공시하였고, 재배법은 옥수수의 경우 5월 4일에 1 Pot당 15주를 재식거리 30×20으로 파종하여 시비량은 10a당 질소 18kg, 인산 15kg, 칼리 15kg을 기준으로 하여 질소만 생육 7-8엽기에 분시하고 나머지는 전량 기비로 하였다. 콩의 경우는 옥수수와 같은 재식거리로 파종하여 시비량은 10a당 질소 7.2kg 인산 30.2kg, 칼리 17kg을 기준으로 하여 전량기비로 하였다. 기타 재배관리는 중부지역 관행재배법⁸⁾에 준하였다.

인공배지의 장기간 노지상태에서의 이·화학적 변화를 관찰하기 위하여 소성물과 일반토양을 섞어 만든 토양의 물리 화학적 성질 지표인 pH, EC, OM, TN 및 입도실험과 비중을 작물 재배 전과 후에 각각 측정하여 변화량을 관찰하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1 이화학적 변화 분석

슬러지가 장기간의 노지상태에서의 이화학적 변화를 관찰하기 위하여 시험재료로 사용한 인공배지는 1차 작물재배를 하고 난 후에 토양의 물리 화학적 성질을 분석하기 위해 입도실험과 화학적 지표인 pH, EC, OM, TN, 유효인산 CEC 그리고 중금속성분을 분석하였다. 입도분석 결과 자연상태에서 일반토양과 섞여있는 고온소성 인공배지는 그대로 원형을 유지하고 있었다.

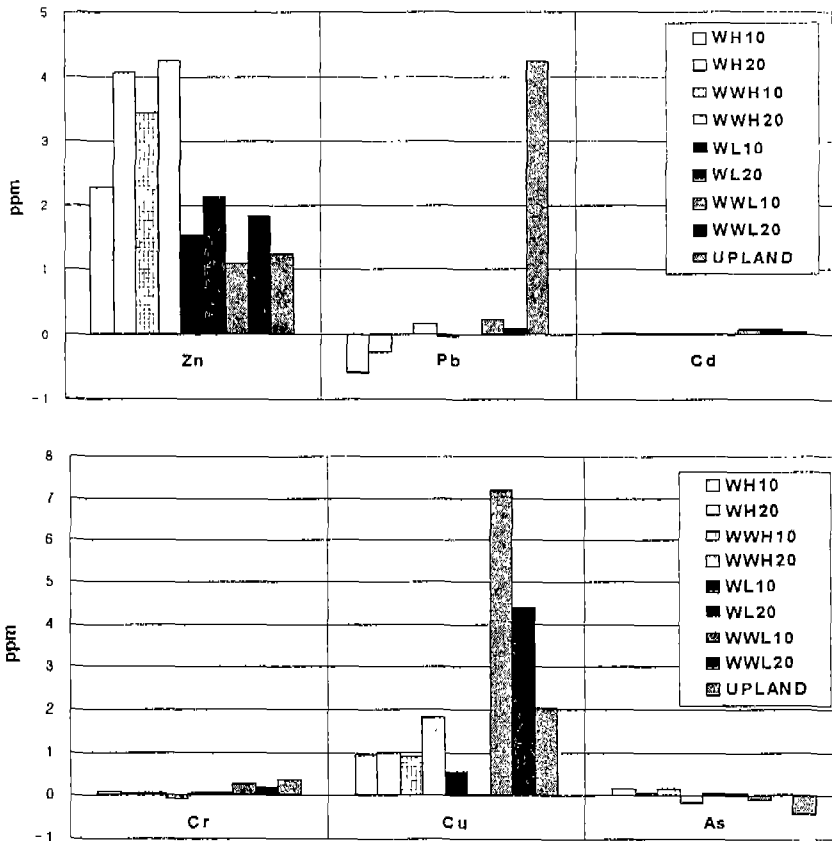
<Table 2>은 1차년도에 시비를 하지 않은 경우의 초기 상태와 작물재배 후의 성분을 분석하여 화학적 변화치를 양적으로 표현하였다. pH는 대부분 거의 변화를 보이지 않고 있다. EC의 경우 상수고온 10%, 20% 에서만 일반토양보다 작게 나왔을 뿐, 나머지는 상당히 많은 양이 줄어드는 것으로 보아 염해에 대한 피해가 줄어들 것으로 예상된다. OM은 일반토양과 거의 비슷한 수준을 유지하고 있다. T-N의 경우는 모두 거의 검출되지 않았다. CEC의 경우 일반토양은 0.25me/100g 인데 비해 고온의 경우는 전반적으로 상당히 높은 증가수치를 보여 주고, 하수고온10%토양은 8.62me/100g만큼이 증가하여 일반토양의 CEC증가량보다 30배까지 증가된 것을 알 수 있다.

<Table 2> Summary of chemical characteristics of Soils after planting bean and corn

Class	pH		EC		OM		TN		CEC	
	Stand	Change	Stand	Change	Stand	Change	Stand	Change	Stand	Change
Unit			$\mu\text{S/Cm}$		%		%		$\text{mc}/100\text{g}$	
WH10	8.4	-0.1	132.9	-11.0	0.0	0.2	0.0	0.0	17.2	2.98
WH20	8.5	0.0	190.8	-29.3	0.1	0.3	0.0	0.0	13.9	4.32
WWH10	7.7	-0.1	144.4	-112.6	0.2	-0.1	0.0	0.0	12.8	8.62
WWH20	8.0	0.0	299.0	-229.0	0.2	0.0	0.0	0.0	13.0	7.38
WL10	8.3	0.0	251.8	-84.3	0.9	-0.3	0.1	0.0	15.6	3.32
WL20	8.2	0.0	309.0	-124.6	1.2	0.0	0.1	0.0	18.3	6.90
WWL10	8.3	-0.3	252.7	-117.3	1.0	0.0	0.1	0.0	17.4	2.39
WWL20	8.2	0.0	292.0	-82.9	2.1	-0.3	0.2	-0.1	18.1	1.25
UPLAND	8.5	0.2	213.3	-88.2	0.2	0.2	0.0	0.0	14.5	0.25

음수표시는 초기 성분보다 값이 줄어든 경우이다.

<Fig. 1>은 1차 작물재배 후에 토양의 중금속을 측정하여 작물성장후의 토양의 중금속 변화량을 비교하였다.



<Fig. 1> Variation of Heavy Metal of Artificial media-soil and Upland after Planted bean

중금속의 경우 대부분 초기값보다 증가되었다. 그 이유는 대부분의 중금속성질은 흡착되는 성질이 강하고 슬러지의 흡착력 또한 뛰어나기 때문에 물에 의해 쉽게 빠져나가지 못하고 그

대로 고정되어 있기 때문으로 추정한다. 그리고 일반토양의 증급속 증가량과 인공배지와 인공 토양의 증가량을 비교할 때, <Fig. 1>에서 보듯이 Zn의 경우 고온소성한 인공배지가 일반토양의 증가량 보다 다소 많이 검출되었고, 저온소성한 인공토양은 하수저온10%경우만 제외하고 전반적으로 증가하였다. Pb의 경우는 자연증가량이 4.24ppm이 증가하는 반면에 인공배지나 인공토양에서는 줄어들거나 거의 변동이 없어 납에대한 흡착효과가 뛰어난 것으로 추정하였다. Cd의 경우는 모두 거의 증가하지 않거나 초기 상태와 같은 함량을 유지하였다. Cr 역시 자연 증가량보다 작게 검출되었다. Cu는 인공토양인 하수저온토양에서 자연증가량의 2배에서 4배 가량이 증가하였다. As는 일반토양은 감소한 반면, 인공배지, 인공토양은 거의 변동이 없었다.

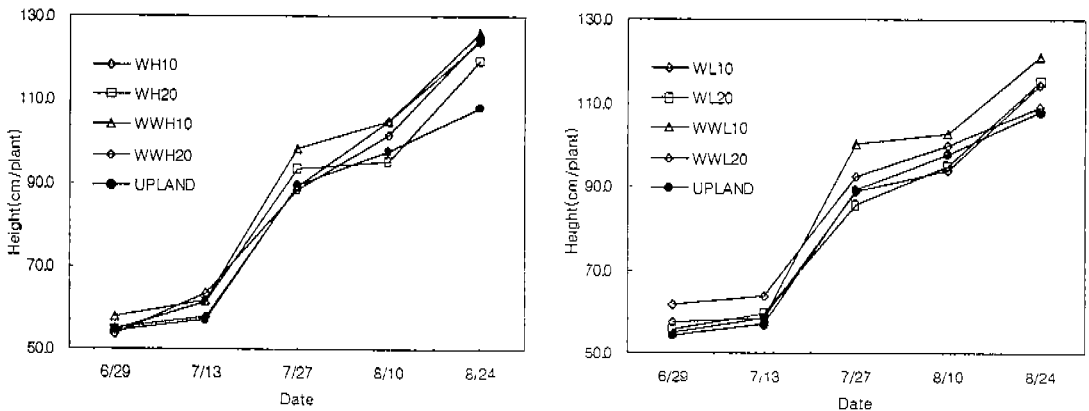
3.2 작물 성장 분석

작물의 식물생장반응 분석연구는 크게 두가지로 나누어 볼 때, 작물개체에 대한 성장해석과 전체 또는 일정 시험구의 성장해석으로서 우리가 관심이 있는 것은 일정시험구의 성장해석으로 본 연구에서는 표준시비를 한 후의 초장, 엽면적 및 건물중을 측정하였다.

콩의 생육상황은 <Table 3>와 같이 일반토양에 비해 인공토양에서 크게 나왔고, 상수고온 10%와 20%만 작고 나머지는 인공배지가 일반토양보다 생육이 더욱 양호하였다. 특히 비료수준이 똑같은 상태에서 수량을 직접 규제하는 엽건물중을 살펴보면 인공배지는 하수고온20%만을 제외한 나머지는 일반토양의 엽건물중보다 우세하였다. 그리고 인공토양 역시 일반토양보다 생육이 우세하였다.

<Table 3> Growth characteristics of bean at planting 10 August

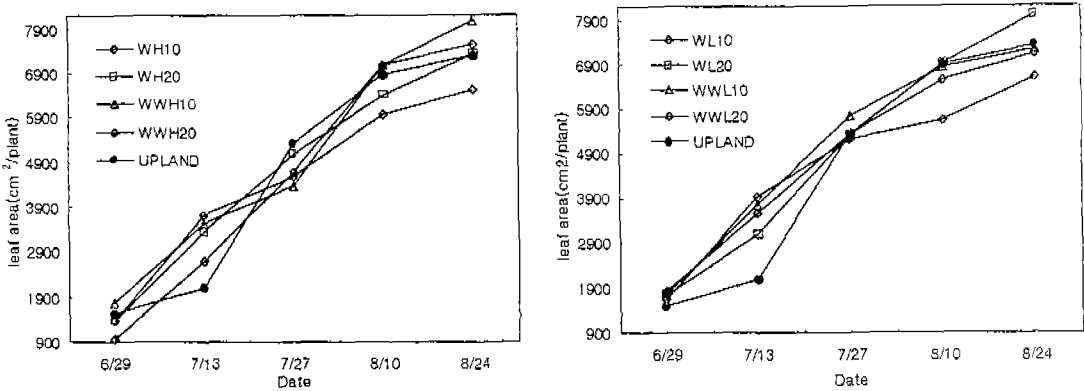
Class	Height	Leaf Area	Dry weight(g/plant)		
	cm		cm ²	Leave	Trunk
WH10	101.7	7098.9	21.3	32.7	54.0
WH20	95.3	6407.9	21.8	36.6	58.4
WWH10	104.7	7083.1	24.3	25.3	49.6
WWH20	104.7	5984.0	16.5	25.6	42.1
WL10	100.0	6536.3	19.1	38.5	57.6
WL20	95.0	6912.2	21.4	44.1	65.5
WWL10	102.7	6826.1	22.8	39.4	62.2
WWL20	94.0	5637.6	19.0	35.7	54.7
UPLAND	97.7	6877.0	20.2	33.7	53.9



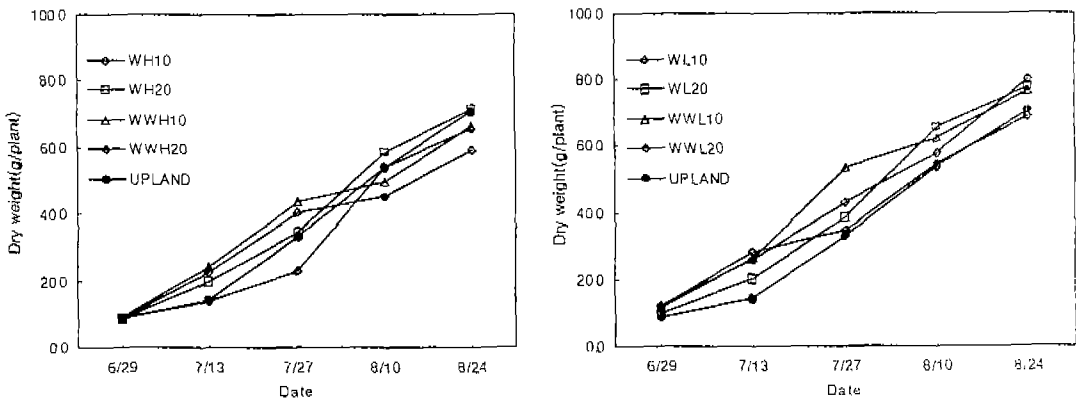
<Fig. 2> Changes in height of bean at different artificial media, artificial soil and upland

인공배지와 인공토양의 작물 생육에 대한 효과를 알아보기 위해 초장, 옆면적 전건물중을 생육기간의 성장 그래프로 나타낸 것이 <Fig. 2, 3, 4>이다.

초기생장은 일반토양에 비해 인공배지와 인공토양이 매우 우수하였지만 생육 증기부터 몇몇 구가 일반토양과 비슷한 성장을 보였는데 그 이유는 Pot에서 작물을 키우다 보니 다소 생육에 지장을 주었으리라 사료가 되고, 실제 노지에서 생육은 훨씬 좋은 것으로 사료된다. 일반토양의 각 시험구는 7월 13일 이후 초장, 옆면적, 급격한 증가를 보이다가 이후에는 증가가 다소 완만해지는 경향을 보였다. 인공배지는 초장과 옆면적의 경우 일반토양과 비슷한 증가를 보이고, 건물중에서는 7월 27일부터 8월 10일경에 상수고온 10%와 하수고온 10%가 다소 완만해지는 경향을 보였다. 인공토양의 경우 전반적으로 일반토양의 시험구보다 생장이 좋았다. 다만 하수저온 20%의 옆면적이 7월 27일경부터 다소 완만해지는 경향을 보였다.



<Fig. 3> Changes in leaf area of bean at different artificial media, artificial soil and upland



<Fig. 4> Changes in dry weight of bean at different artificial media, artificial soil and upland

IV. 결론

일반적인 토양오염 개량대책은 물리적인 방법으로 오염토양을 매립하거나, 객토, 삭토 및 흙착방법으로 체오라이트나 벤토나이트와 같은 물질을 사용하고, 화학적인 방법으로 소석회를 사용하여 유해중금속을 불용화 시키기도 한다. 본 연구에 사용한 열처리과정중 소성온도와 시간, 공기혼입량을 조절하고, 유기물의 연소정도를 조절하여 소성물을 만들 경우 인공배지의 내부

가 활성탄형태를 띠게 되고, 응집제로 자바사이트와 생석회를 첨가제로 사용하기 때문에 휴적력이 증가되어 충분히 토양오염 개량 대체품으로 사용이 가능해서 폐광산 및 제련소등의 오염된 토양에 대한 피해를 경감시킬 수 있다.

1. 인공배지 및 인공토양의 화학적 변화량을 분석한 결과 시간이 경과함에 따라 변화되는 수치가 일반토양과 비슷했고, 특히 고온일 경우 CEC의 함량은 일반토양보다 상당히 커지는 것으로 보아 무기물을 흡착하는 능력이 뛰어난 것을 알 수 있다.
2. 입도 분석을 한 결과 시간이 경과한 후에 고온소성한 인공배지는 그 형태를 그대로 유지하고 있고, 입도 또한 변하지 않았기 때문에 배지로서의 능력을 하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 고온소성물을 유기질이 소각되면서 다공질의 형태를 띠고 있고 중량이 적고, 보습력 및 통기성이 뛰어 나고 배수측면에서도 일반 토양보다 월등히 뛰어나 작물재배에 탁월한 능력을 지니고 있다.
3. 시간경과 후의 인공배지 및 인공토양의 중금속증가량이 일반토양의 자연증가량보다 훨씬 적게 증가되거나 줄어들어 시간 경과 후에도 무기물 흡착에 성능을 발휘한다.
4. 표준 시비에 의한 작물 생장결과 인공배지 및 인공토양에서의 생육이 일반토양에서의 생육보다 뛰어난 것으로 보아 인공배지 및 인공토양을 20% 정도까지 농자재로 사용한다면 더 많은 수확을 기대할 수 있다.
5. 작물에 대한 중금속 기준량은 없기 때문에 작물자체에 인공배지 및 인공토양이 미치는 영향을 평가 할 수 없어 조속한 시일내에 규정치를 만들어야 할 것이다.

V. 참 고 문 헌

1. 윤춘경, 김선주, 임용호, 정일민, 1998, 슬러지를 이용한 인공토양의 흡착 및 용출 특성, 한국농공학회지, 40(4)
2. 김선주, 윤춘경, 양용석, 1998, 도시발생 슬러지를 이용한 환경친화적 인공배지 생산, 한국농공학회지, 40(2),102-111
3. 김선주, 윤춘경, 이남출, 1997, 슬러지를 이용한 인공토양 생산 및 농자재화 가능성 연구, 한국농공학회지, 39(5), 64-70
4. 농촌진흥청, 1989, 농업기술수련소, 토양화학분석법
5. 환경부, 1986, 전국환경보전장기종합계획 사업, 폐기물부분 보고서
6. 건국대학교 농과대학, 주식회사 한미기연, 1997, 상·하수 슬러지 등을이용한 覆土材, 土壤改良材 및 人工培養土, 汚廢水淨化土, 集排水材로서 자원화 재활용 방안
7. 김선주, 맹원재, 김기성, 1997, 1998 상하수 Sludge 및 오염토양의 특성분석 및 열처리방법의 기초연구, 건국대학교 농업자원개발연구소
8. 崔範烈, 1973, 田作, 향문사
9. 朴來敬, 1988, 작물재배의 신기술, 식량작물편, 명륜당
10. Garvey, D, 1991, Treatments and disposal of sewage sludge, proc. of sludge 2000, U.S. EPA, 1991, sewage sludge use and disposal, Robinson College, Cambridge
11. U.S EPA(1991) Sludge management practices in U.S., Biocycle, 2(3)
12. Davis, M. L. and D. A. Cornwell, 1991, Introduction to Environmental Engineering, McGraw-Hill.