

# 도시발생 폐기물을 저공해 열처리 생산한 환경친화형 인공배지의 작물재배이용기법 개발

Development of Crop Cultivation Technique Using Environment  
-friendly Artificial Media Using Urban Waste

김 선 주 (건국대) · 양 용 석\* (건국대)  
Kim Sun Joo · Yang Yong Suck

## Abstract

This study was initiated to investigate the applicability of sludge from water or waste water treatment on the crop cultivation.

Sludge is generated in the process of water and wastewater treatment process in large quantity. The sludge can cause many environmental problems. we have a many available treatment methods of sludge. However, these methods still shortcomings and are not .

The composition of typical municipal sludge contains organics and inorganics. The organics components are normally burnt in high temperature and mainly inorganics components are left after thermal treatment process.

For the production of artificial media, chabazite was used as additive, and the mixed material was thermally treated in the firing kiln at 800~1,100°C for about 10 minutes. The physical and chemical characteristics of artificial media were analyzed and it showed that the artificial media could be used as a media for plants and soil conditioner for farmland.

The concentrations of the toxic heavy metals in the media were lower than those in the soil quality standard for farmland.

This study illustrated that the artificial media production process, and introduced how to produce it's possible application as a media for plant growth.

---

1998년도 한국농공학회 학술발표회 논문집(1998년 10월 24일)

## I. 서론

오늘날 나날이 심각해지는 환경속에서 살아가고 있는 현대인이라면 누구나 깨끗한 물을 원하고 있다. 이러한 욕구를 만족시키기 위한 과정에서 슬러지의 발생은 필연적이며, 현재 우리나라의 일일 생활하수 및 산업폐수의 발생량은 1,463만톤 및 874만톤으로 추정되고 그양은 매년 증가하고 있는 추세이다. 이로 인한 슬러지의 발생량 역시 증가되고 있으며 슬러지의 대량처리는 일반적으로 매립에 의존하고 있으나 매립에 의한 처리는 침출수에 의한 2차오염과 매립부지확보의 어려움등으로 장기적으로 볼 때 결코 바람직한 방법이라 말할 수 없다. 이런 문제점을 해결하기 위하여 여러분야에서 다각적인 슬러지처리방법의 연구가 활발히 이루어지고 있다.

슬러지의 경우 그성분에 있어서 유기물과 무기원소의 함량이 높아 농업자원으로서의 재활용이 가능하며 실제로 미국이나 유럽, 일본등지에서는 많은 양의 슬러지를 토양개량제등으로 이용하고 있다. 그러나 슬러지, 특히 하수 슬러지는 중금속의 함량이 높고 혐기성 분해시 악취를 발생하며 함수율이 크므로 슬러지 원래의 형태로 사용시 문제점을 발생시킬 수 있다. 그러므로 농자원으로서의 사용시 토양이나 작물오염의 가능성을 고려하여 신중한 검토가 필요하다. 그러므로 본 연구에서는 슬러지를 혼합, 건조, 소성과정을 걸쳐 저공해 열처리 기술을 이용한 인공소성물로서 생산된 소성물의 물리적·화학적 성분을 조사한 후 작물적용성 시험을 걸쳐 무해성여부를 판단하여 슬러지를 이용한 작물재배의 효율성과 안정성을 검토한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 실험재료

본 연구에 사용된 슬러지는 도시지역의 정수장과 하수종말처리장에서 발생된 상·하수 슬러지를 사용하였으며, 슬러지의 함수비는 80%이었고 육안으로는 유동층을 발견할 수 없었다. Table.1은 본 실험에 사용된 하수종말 처리장의 슬러지와 인공배지를 만드는 과정에 들어간 첨가재의 이·화학적성분을 나타낸다.

혼화제로 사용된 자바사이트는 분자구조가  $(Na_2, K_2, Ca, Ba)[(Al, Si)O_2]_n \cdot x H_2O$ 인 지올라이트(zeolite)계의 한 종류로서  $Ca_2[Al_4Si_8O_{24}] \cdot 12H_2O$ 로 나타내고 양이온 교환능력이 뛰어나고 흡착능력이 우수하다. 지올라이트계에서 자바사이트는 Ca원소로 구성되어 있어 K원소로 구성된 것보다 보수력이 뛰어나다고 알려져 있다. Table.1에서 보듯이 전체적인 중금속의 함량은 상수 슬러지나 첨가재로 사용된 자바사이트보다 하수 슬러지에서 많은 양이 검출되는 것을 볼 수 있다. 그러나 Cu를 제외한 나머지 중금속의 양은 우리나라 일반 발토양의 범위를 넘지 않고 있다. Table.2는 상·하수슬러지와 첨가재를 혼합 후 생산과정을 걸쳐 생산된 소성물의 화학적성질을 분석한 것으로서 주요 양이온과 중금속의 함량이 Cd를 제외하고는 모두 환경보전법의 토양오염대책기준과 비교해 볼 때 기준이하의 값을 갖는다. 토양의 비옥도와 관련된 CEC의 경우도 우리나라 일반적인 발토양의 함유량인 10me/100g에 흡사

한 값을 지니며, pH도 하수슬러지를 처리한 소성물의 경우 다소 높은 경향을 보이  
나 작물의 생육에는 큰 지장을 주지 않는 범위에 속한다.

Table 1. Characteristics of the materials used in the experiment

	water treatment Sludge	waste water treatment sludge	Chabazite	Unit
pH	8.60	7.51	6.70	
EC	1234.00	2108.00	48.30	$\mu$ S/cm
OM	32.91	14.24	1.01	%
CEC	-	-	20.30	meq/100g
T-N	0.42	3.32	ND	%
T-P	360.16	666.68	528.99	ppm
As	35.62	8.00	9.92	ppm
Zn	162.29	1956.72	70.87	ppm
Cd	0.57	2.96	1.17	ppm
Pb	29.69	117.70	18.96	ppm
Cr	56.55	165.73	30.04	ppm
Cu	34.78	326.12	30.92	ppm
Hg	ND	1.19	0.87	ppm

Table 2. Chemical properties of the artificial media from  
water/waste water treatment sludge(Unit:ppm)

Constituent	artificial media from water treatment sludge	artificial media from waste water treatment sludge
Main cations		
Fe	80608	72087
Mg	8092	8045
Ca	10860	11756
Na	47038	60752
K	19072	19934
Heavy metals		
Mn	2301	2324
Cu	44	121
As	102	107
Cd	19	17
Zn	250	639
Pb	96	47
Al	112130	121348
B	36877	72456
Cr	139	152

Table 3. Physical properties of the artificial media from water/waste water treatment sludge(Unit:ppm)

	Artificial media from water treatment sludge	Artificial media from waste water treatment sludge	Unit
pH	9.36	7.89	
EC	258.50	1182.00	$\mu\text{S}/\text{cm}$
OC	0.02	0.00	%
OM	0.03	0.00	%
CEC	6.50	5.60	me/100g
T-N	0.00	0.01	%
T-P	775.86	99.94	mg/kg
Particle density	2.55	2.44	
Textural triangle	Gravelly loam	Gravelly loam	

Table 3은 생산과정을 걸친 소성물의 물리적 성질을 분석한 것으로 유기물함량이 다소 감소한 것을 볼 수 있는데 이는 고온소성과정에서 연소된 것으로 보여진다. 비중은 2.4-2.5이고 입도분석 결과 삼각분류에 의하면 Gravelly loam에 속한다. Table 4,5는 혼합, 건조, 소성과정을 걸쳐 생산된 소성물을 대비구로 사용된 발토양과 실험목적에 의거하여 혼합한 실험구의 이화학적 성분을 분석한 것으로 실제 포장에서 사용시 적용되는 성질을 가진 것으로 볼 수 있다.

Table 4. Chemical properties after mixed the artificial media from water/waste water treatment sludge and Upland soil.(Unit:ppm)

	AW 10 % + US 90 %	AW 20 % + US 80%	AWW 10 % + US 90%	AWW 20 % + US 80%	Upland soil
Zn	161	175	167	209	129
Pb	82	37	30	36	30
Cd	17	18	13	17	15
Fe	66363	72175	56174	65319	46454
B	177	211	10880	236	6348
Mn	1149	1237	947	1147	794
Cr	126	130	117	121	93
Mg	11306	11164	9899	10378	8248
Cu	25	26	35	40	31
Ca	13893	14338	14297	16377	12239
Al	86177	87665	113512	90520	94843
Na	15037	14760	64141	14589	40146
K	21802	21467	25495	20307	23819
As	85	84	102	82	92

\* AW : Artificial media from water treatment sludge.  
 AWW : Artificial media from waste water treatment sludge.  
 US : Upland soil.

Table 5. Physical properties after mixed the artificial media from water/waste water treatment sludge and Upland soil.(Unit:ppm)

	AW 10 % + US 90 %	AW 20 % + US 80%	AWW 10 % + US 90%	AWW 20 % + US 80%	Upland soil	Unit
pH	8.41	8.51	7.66	8.01	8.51	
EC	132.90	190.80	144.40	299.00	213.30	$\mu$ S/cm
OC	0.02	0.06	0.12	0.12	0.12	%
OM	0.03	0.10	0.20	0.20	0.20	%
CEC	17.22	13.88	12.78	13.02	14.50	me/100g
T-N	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	%
T-P	107.43	108.29	160.69	140.33	1254.33	mg/kg
Particle density	2.56	2.57	2.56	2.67	2.45	
coefficient of permeability	$2.93 \times 10^{-5}$	$4.88 \times 10^{-5}$	$2.65 \times 10^{-5}$	$3.96 \times 10^{-5}$	$5.29 \times 10^{-5}$	cm/sec
Textural triangle	Gravelly loam	Gravelly loam	Gravelly loam	Gravelly loam	Gravelly loam	

## 2. 인공배지 생산시설

본 연구에서 사용된 슬러지 처리방법은, 상·하수슬러지를 열처리하여 인공배지를 생산하는 방법으로서 상·하수슬러지처리에 저공해의 요업소성 처리방식을 접목한 기술이다. 즉, 슬러지 탈수과정 등에서 함유된 유해물질 및 응집제를 결합점성이있는 첨가제(자바사이트, 점토, 황토 등)를 이용하여 혼합한 후 성형, 건조, 소성과정을 거쳐 소성물을 생산해 내는 것으로 fig 1에서 소성물의 생산과정을 간략하게 소개하였다.

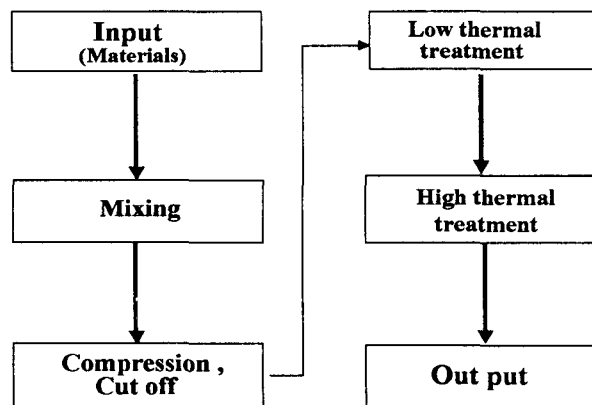


Fig. 1. Process of artificial media production

처리시설중 첫번째 장치로, 안정화 장치는 상·하수슬러지 60%에 황토25%, 점토 15%를 혼합한 첨가제 40%를 중량비로서 첨가하여 교반하는 장치로 슬러지의 함수비와 특성에 따라 혼합비가 결정되는데 상·하수슬러지의 중량비를 기준으로 하여 슬러지, 첨가제(자바사이트), 생석회등을 혼합기에 넣고 균일하게 혼합반죽하여 시료를 안정화 시키는 장치이다. 이때 투입재료의 함수비는 50~60%를 유지시킨다. 재료의 특성과 사용목적에 따라 혼합비 조정도 가능하다. 성형기는 인공배지 입자의 직경을 용도별로 생산이 가능하도록 제작되었고 안정화된 시료를 일정한 직경으로 압출하여 둥근 구(球)성형체로 만든다. 이 장치에서는 직경의 길이 조정이 가능하여 원하는 성형체를 만들 수 있으며, 건조장치는 성형체를 300~500℃의 열풍으로 수분함량 20% 이하가 되도록 건조시킨다. 이 과정은 슬러지의 함수비를 조절하는데 그 목적이 있으므로 함수비에 따라 이 공정을 생략 또는 반복이 가능하다. 소성기는 800℃~1,100℃의 온도로 혼합과 건조과정이 끝난 슬러지를 회전로에서 소성시키는 장치로서, 본공정을 통하여 대부분의 유기물은 소각되어지고 다공질형태의 인공배지가 생산되는데, 이때 소성온도 및 소요시간에 따라 인공배지의 형태 및 특성을 조절할 수 있다.

### 3. 작물 적용성 실험

소성과정을 통하여 생산된 소성물과 대비구로 사용한 발토양을 일정비율로 혼합하여 실험구를 설계하였으며, 공시작물은 콩과 옥수수를 사용하였다. 실험포장은 작물재배와 작물생육분석의 용이성을 고려하여 건국대학교 농업생명과학대학내 실험포장에서 실시하였고 시험구 설계는 완전임의배치법 3반복으로 하였으며, 재배관리는 중부지방의 관행재배법에 준하였다.

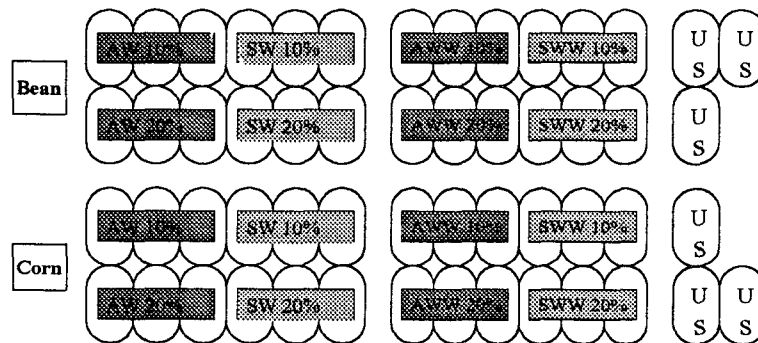


Fig 2. Layout of the experimental field plots

파종은 1998년 5월 중순에 실시하였으며 pot당 3줄로 총 20주가 이루어 졌으며, 한곳에 2주씩 파종하여 표본의 토양분 분산을 막기 위하여 파종 1개월 후 육안으로 성장상태가 좋은 표본을 선택하여 표본을 1주씩으로 정리하였다. 사용된 비교발 토양은 경기도 분당시에서 현재 사용되고 있는 발토양을 채취하여 사용하였다. 사용

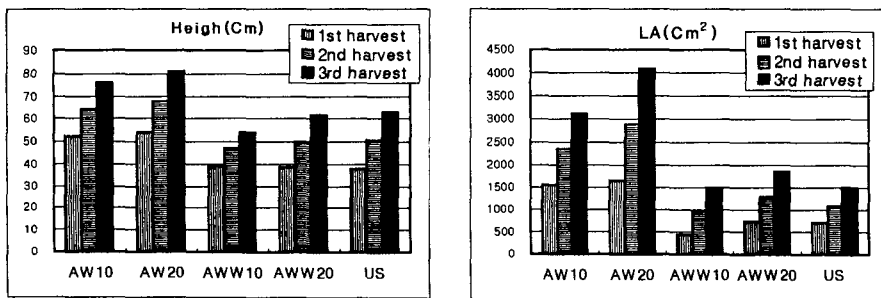
된 pot의 내부는 배수의 용이성을 위하여 바닥에서 10cm를 잔자갈과 굵은자갈을 혼합하여 깔아 배수성을 높였고 그 위에 부직포를 덮음으로써 관개로 인한 토양의 손실을 방지하였다. 바닥면에는 임의로 배수량을 조절할 수 있도록 밸브를 설치하여 증발산량의 산정도 가능하게 하였으며, pot배치시 바닥을 균질화한 후 7inch의 블록을 설치하여 일정 경사를 주어 배수가 용이토록 하였고 자연침하에 의한 pot의 변형을 막았다. 관수방법은 처음 1개월은 충분히 관수하였으며, 그 이후로는 다공호 오스관개방법을 이용하였다. 작물의 시비는 시비에 따른 차후의 토양의 성분변화와 작물체내, 종실의 중금속 함량 분석을 위하여 전혀 시비를 하지 않았다. 작물의 성장분석을 위하여 1998년 7월 28일부터 7일 간격으로 3회 걸쳐서 수확을 하여 초장과 엽면적, 건물중을 조사하여 시험구에 따른 작물의 성장정도를 비교 분석하여 보았다.



Fig 3. Looks of the corn and bean after one month

### III. 결과 및 고찰

Fig 4.5의 분석결과와는 pot당 2주씩 무작위로 선택, 3반복을 실시한 각 혼합비율당 6주의 값을 평균한 것으로 콩과 옥수수, 두 가지 공시작물에서 모두 비교발 토양보다 나은 성장을 보였다. 특히 상수슬러지를 처리한 인공배지 20%과 비교발 토양 80%를 혼합한 경우는 비교발 토양보다 2배에 가까운 성장을 보였다. 콩의 경우는 하수슬러지의 소성물을 혼합한 경우 성장을 좋지 못하지만 계속 성장을 한것으로



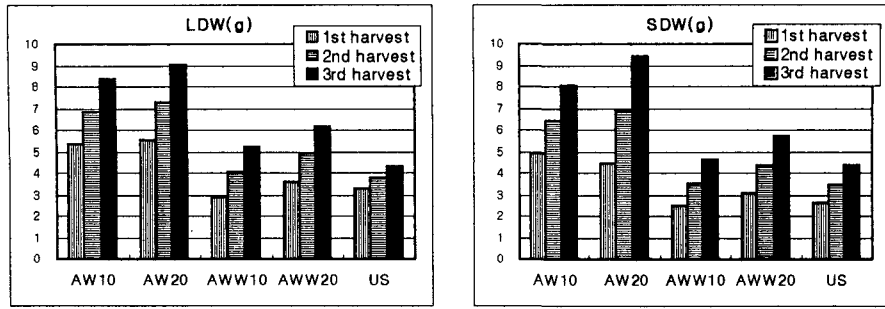


Fig 4. Analysis results of the Bean

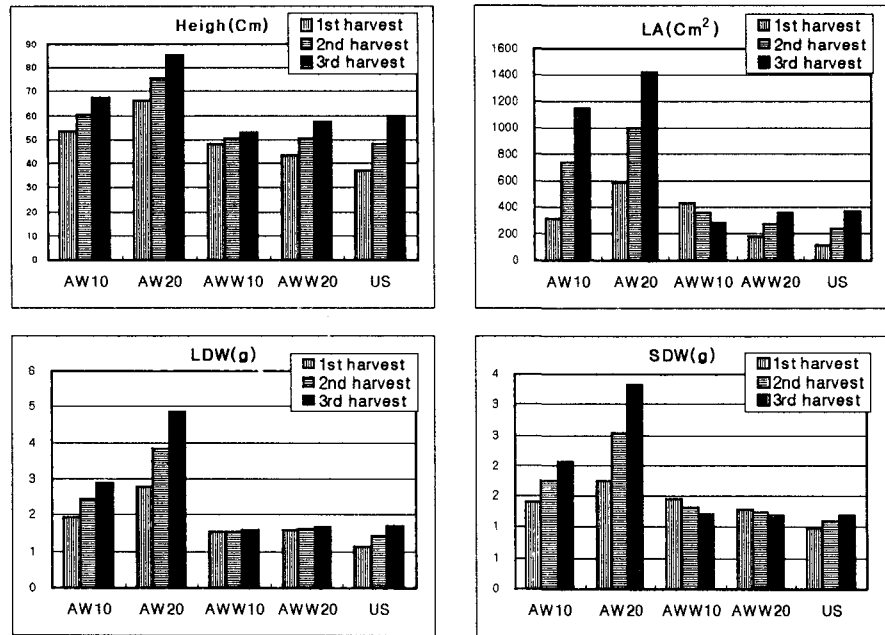


Fig 5. Analysis results of the Corn

\* AW : Artificial media from water treatment sludge.  
 AWW : Artificial media from waste water treatment sludge.  
 US : Upland soil.

결과가 나왔으나, 옥수수의 경우는 생장이 거의 없거나 오히려 감소한 것으로 분석되었다. 작물체내의 중금속 함량에 대한 분석은 9월 8일부터 1주일 간격으로 줄기와 잎, 종실을 분리하여 이루어지고 있으며 동시에 수확기를 즈음하여 종실로의 영양분이동을 통한 중금속 이동여부도 조사하고 있다.

#### IV. 결론

도시주거지역에서 발생하는 하수를 처리하는 하수종말처리장 및 정수장의 슬러지



를 열처리하여 인공배지를 생산하는 방법을 개발하였으며, 인공배지의 이화학적특성과 유해성을 검토하여 농업에의 활용방안을 조사하였으며, 연구결과를 요약하면 다음과 같다. 이러한 처리방법은 상·하수슬러지의 처리에서 발생하는 문제점을 해소하는 차원에서 이제까지 사용되어온 방법의 슬러지 안정화나 유기질 비료생산시 소요되는 처리기간을 단축하고 넓은 장소와 설비규모를 줄이며 슬러지 처리에 소요되는 경비보다 적은 경비로 열처리하므로써 인공배지, 인공토양, 고토비료, 여과정화토 등의 다목적 재활용 제품을 얻을 수 있다.

1) 생산된 인공배지의 이·화학적특성과 유해성을 검토한 결과 작물에 대한 유해성이 없어 배지나 비료로서 활용할 수 있는 것으로 나타났다.

2) 인공배지는 고온소성과정에서 유기물질의 소각되므로 다공질의 형태를 띠므로 중량이 적고, 보습력이 뛰어나며 또한 통기성도 좋아 작물재배을 위한 배지로서의 충분한 조건을 지니고 있다.

3) 소성한 인공배지는 시비를 하지 않은 대비구와 비교해 볼 때 상수슬러지를 소성처리한 경우, 특히 혼합비가 20%인 경우에 작물생육이 더욱 좋은 것으로 결과가 나오므로 작물생산을 위한 배지로서 이용할 수 있다.

4) 인공배지의 생산 및 여러 가지의 제품으로서의 본격적인 실용화를 위해서는 이상의 실험결과를 기초로 인공배지를 이용한 다양한 작물재배 시험, 농경지에 혼합하였을 경우에 토양의 이·화학적 특성변화 및 장기적으로 미치는 영향등에 관한 추가연구가 뒤따라야 할 것으로 판단되며, 재배작물내의 중금속 함량에 대한 분석이 이루어져야 할 것이다.

5) 새로운 첨가제의 개발, 배합비율, 소성온도의 조절을 통하여 실험재료의 성격상 동일한 성분을 유지하기 어려운 점을 감안하여 비교적 균일한 성분을 유지가능한 소성물의 생산방법에 대한 추가적인 연구가 이루어 져야할 것으로 생각된다.

#### 참고문헌

1. 김선주, 윤춘경, 이남출, 1997, 슬러지를 이용한 인공토양 생산 및 농자재화 가능성 연구, 한국농공학회지, 39(5), 64-70
2. 환경부, 환경백서, 1996
3. 이남출, 나상우, 1995, 회전로의 소성장치, 실용신안등록출원서- 95 제1613호.
4. 임병조, 김영수, 1996, 토질시험법, 형설출판사
5. 輯文社, 1995, 화학공학편람, 화학공학편람편찬위원회
6. 건국대학교 농과대학, 주식회사 한미기연, 1997, 상·하수 슬러지 등을 이용한 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, 상하수 Sludge 및 오염토양의 특성분석 및 열처리방법의 기초연구, 건국대학교 농업자원개발연구소
8. 弘文館, 1996, 환경관계법규 III, 토양환경보전법 토양오염대책기준[별표3]
9. 弘文館, 1996, 환경관계법규 III, 폐기물편
10. U.S EPA(1991) Sludge management practices in U.S., Biocycle, 2(3)
11. Davis, M. L. and D. A. Cornwell, 1991, Introduction to Environmental Engineering, McGraw-Hill.
12. Metcalf & Eddy, 1991, Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse, Third Edition, McGraw-Hill.
13. Methods of Soil Analysis, 1986, Part1: Physical and Mineralogical Methods, Second Edition, American Society of Agronomy, Inc., Madison, WI.
14. Methods of Soil Analysis, 1986, Part 2: Chemical and Microbiological Properties, Second Edition, American Society of Agronomy, Inc., Madison, WI.