

도시발생 슬러지를 이용한 환경친화적 인공배지 생산

Production of Environment-friendly Artificial Media for Agriculture Using Urban Sludge

김 선 주* · 윤 춘 경* · 양 용 석**
Kim, Sun Joo · Yoon, Chun Gyeong · Yang, Yong Suck

Summary

Large amount of sludge have been generating in the process of water and wastewater treatment in urban area, and it has been making many environmental problems. Currently almost of sludge is landfilled, and since sludge is difficult to handle and dehydrate, the permeated water from the filled-in ground contaminate the surrounding soil and groundwater which may cause serious environmental and sociological problems.

The organic component in sludge can be almost removed through the heat treatment process, and the final product is called artificial soil or artificial media according to the temperature control.

To produce artificial media using sludge, chabazite and lime were used as an additive, and the mixture of sludge & additives was thermally treated in the firing kiln at about 800~1,100°C for about fifteen minutes.

The physical and chemical characteristics of the produced artificial media were analyzed, and it showed that it can be used as an artificial media for plant production or soil conditioner for farmland. The concentrations of the toxic heavy metals in the artificial media were lower than the soil quality standard for farmland.

The characteristics of produced artificial media, using the mixture of sludge and additives through the heat treatment, is similar to the natural chabazite and soil. The analyzed result of the mineral composition of artificial media showed that it has a characteristics similar to natural stable soil, so the produced artificial media may be applied to farmland or water culture without causing adverse effect. Therefore this study showed that the above process can be a feasible alternative for sludge treatment.

* 건국대학교 농업생명과학대학
** 건국대학교 대학원

키워드 : 상·하수슬러지, 인공배지 생산시스템,
열처리, 소성로, 혼화재

I. 서 론

상하수처리과정에서 발생하는 슬러지는 함수비가 높고 악취가 심한 고농도의 오염물질로서 양적으로도 다량일뿐만 아니라 운반 및 처리에 각별한 유의가 필요하다. 슬러지의 처리는 여러 가지 방법들이 사용되고 있으나, 실험적인 방법들을 제외하고 일반적으로 이용되는 다량처리방법으로는 소각, 토양살포, 퇴비화, 매립, 해양투기, 안정화/고형화처리 등이 있다. 그러나 함수비가 높은 슬러지를 소각하는 데에는 많은 에너지가 소요되며, 소각시 발생하는 유해성분으로 인한 대기오염이 우려되고, 토양에 살포하면 강우에 의한 유출로 인해 주변의 수자원이 오염되며 침출수에 의한 지하수오염이 문제가 된다. 해양투기 방법도 국제협약에 의해 제2의 환경오염을 발생시킨다는 이유로 규제되어 이제는 어려운 상태이다. 안정화/고형화 처리방법에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있으나 첨가재, 기후적인 제약 및 높은 처리비용 등으로 인하여 본격적인 적용에는 아직 어려움이 많은 실정이다. 현재 대부분의 슬러지는 매립장에 매립하고 있는데, 취급이 어렵고 탈수가 잘되지 않는 특성으로 인해 매립장의 측벽붕괴 및 침출수에 의한 주변 토양과 지하수 오염 등 환경적·사회적으로 많은 문제가 발생되고 있어 새로운 슬러지 처리방법의 개발이 시급하다.

또한 전세계적인 원예산업의 발달에 따라 원예용 배지의 이용량이 증가되면서 산업폐기물과 생활쓰레기를 이용한 인공배지 생산에 대한 연구가 진행되기 시작하여 1990년대에 들어와 상품화가 시작되었다. 일반적으로 배지의 구비조건으로서는 무균무영양 상태이어야 하고 동질의 재료를 연속성 있게 구입할 수 있어야 하며 이 화학성이 양호해야 한다. 그리고 무기양분을 흡착하거나 용출하지 않아야 하며 가볍고 다루기 쉬워야 하고 값이 싸고 환경을 오염시키지 않아야 한다. 이밖에도 작물의 뿌리가 신장하기 쉽고, 배지가 양액

과 접촉해도 화학적으로 안정적이어야 하며, 양액이 공급된 후 배지내에 확산성이 좋으며, 양액 재배 후 잔여 뿌리처리 및 배지의 교체가 용이하고, 값싸게 구입 할 수 있을 것 등이 요구되고 있다. 그러나 최근 원예산업의 급격한 신장에 따라 이러한 구비조건들을 만족할 수 있는 토양을 자연계에서 구하기가 어렵게 됨에 따라 인공배지를 이용할 수 있는 방법에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

현재 사용되고 있는 인공배지의 종류로는 혼탄(燠炭), 펠라이트, 석면(石綿), 모래, 피트모스, 왕겨, 톱밥, 대패밥, 송이 및 버미큘라이트 등이 있으며, 이밖에도 배수가 잘 될 뿐만 아니라 보수력이 있고, 작물의 생육에 유해한 물질이 없으며, 이온의 흡착력이 낮은 재료라면 어떠한 것이든 사용이 가능하다.

본 연구에서는 도시지역에서 다량으로 발생하고 있는 상·하수 슬러지를 2차 오염이 없는 재활용품으로 생산하기 위한 방법으로써 슬러지를 성형, 건조한 후 열처리과정을 통하여 인공배지를 개발하여 그 물리적, 화학적 특성을 조사한 후, 작물의 적응성 시험을 통하여 그 효과를 구명하고, 특히 슬러지를 안정화, 성형, 건조, 소성 과정을 통하여 환경친화형 저공해 인공배지로 전환후한 공정을 거쳐 다량으로 저렴한 가격에 지속적으로 생산할 수 있는 기술을 개발하고자 하는 바, 인공배지의 도시내 자체생산으로 도시농업에의 저렴하고 안정적인 공급을 기대할 수 있을 것이며, 앞으로 예상되는 대도시 지역의 환경오염 방지효과도 클 것으로 판단된다.

II. 재료 및 방법

1. 실험재료

본 연구에서 사용된 슬러지는 주거지역에서 발생하는 상·하수를 처리하는 처리장에서 채취하였다. 슬러지의 함수비는 약 80%이었고 육안으로 보았을 때 유동층을 발견할 수 없었다. Table 1

은 본 실험에 사용된 하수종말 처리장의 슬러지와 인공배지를 만드는 과정에 들어간 첨가재의 이·화학적성분을 나타낸다.

자바사이트(chabazite)는 분자구조가(Na₂, K₂, Ca, Ba)[(Al,Si)O₂]_n.xH₂O인 지올라이트(zeolite)계의 한 종류로서 Ca₂[Al₄Si₈O₂₄].12H₂O로 나타내고 양이온 교환능력이 뛰어나며 흡착능력이 우수하다. 지올라이트계에서 자바사이트는 Ca원소로 구성되어 있어 K원소로 구성된 것보다 보수력이 뛰어난 것으로 알려져 있다. 첨가재의 하나인 생석회는 Table 1에서 보는 바와 같이 높은 알칼리성을 띠며, 비료의 하나인 석회질소와 비슷하여 산성토의 중화와 작물생육에 필요한 칼슘 및 질소성분 등을 공급하며 토양개량재의 역할도 한다.⁷⁾

본 연구에서의 슬러지 처리목적은 슬러지를 안정화 및 고화처리하여 인공배지로 재이용하는데 있다. 슬러지의 고화에 반응하는 원료는 고화재에 따라 약간 다른데, 일반적으로 흡수 발열반응, 이온교환반응, 포졸란반응, 탄산화반응, 수화

반응 등이다. 일반적으로 고화제로 생각될 수 있는 것으로서는 생석회, 생석회+보통 시멘트, 생석회+시멘트+고화제(수용성), 생석회+특수시멘트(활성 알루미늄계), 생석회+슬러그 등으로 대별할 수 있다.

본 연구에서 사용한 혼화재는 생석회의 기능, 특수시멘트의 기능, 고화제의 기능을 종합해서 조합한 혼화재로서 그 기능 또한 여타 고화제에 비해 월등히 우수한 화학적 조성물에 의해 안정화 및 고화를 촉진시켜 토질역학적 강도(0.7kgf/cm²)에 가깝게 고화처리할 수 있도록 선택했다.

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 생석회로 안정화시킨 다음 결합점성력이있는 첨가재(자바사이트, 점토, 황토 등)를 혼합시켜 성형, 건조, 소성과정을 거쳐 슬러지를 안정화, 고형화시켜 자원을 재활용하여 슬러지 문제를 해결하기 위해 고안된 기술이다.¹⁾

본 연구에서 이용한 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.

Table 1. Characteristics of the materials used in the experiment

Constituent	Sludge	Chabazite	Lime
pH	7.41	7.65	12.86
Permeability(cm/s)	1.1 × 10 ⁻⁶	7.0 × 10 ⁻⁶	—
Specific gravity	1.98	3.15	3.08
Dry density(g/m ³)	0.64	1.18	0.94
Void ratio	1.98	1.50	2.07
EC(dS/m)	10.9	0.0002	2600
TN(%)	2.71	—	—
TP(%)	14.3	—	—
OC(%)	7.76	0.19	0.1
CEC(me/100g)	—	1.4	0.48
Cd(mg/kg)	34	1.4	—
Cu(mg/kg)	5,830	153	—
As(mg/kg)	91	14	—
Hg(mg/kg)	—	—	—
Pb(mg/kg)	900	140	—
Cr ⁶⁺ (mg/kg)	11	—	—

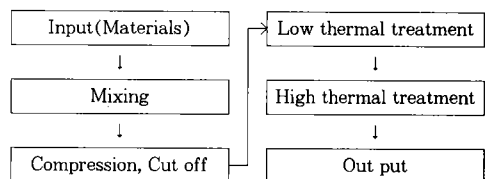


Fig. 1. Process of artificial media production

열처리방법을 통한 상·하수 또는 인분슬러지 처리방법의 공정을 간략히 보면 다음과 같다.

소성과정의 첫단계는 하수 또는 인분슬러지 60%에 황토 25%, 점토 15%를 혼합한 첨가재

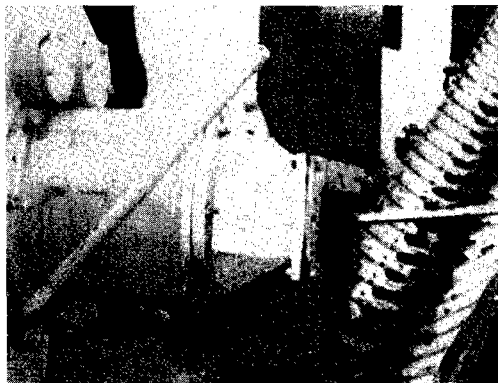
40%를 중량비로서 첨가하여 혼합기로 균질의 반죽을 만드는 것으로, 이때 투입재료의 함수비는 50~60%를 유지시킨다. 이렇게 고르게 혼합된 슬러지와 첨가재를 성형기를 통해 5mm~



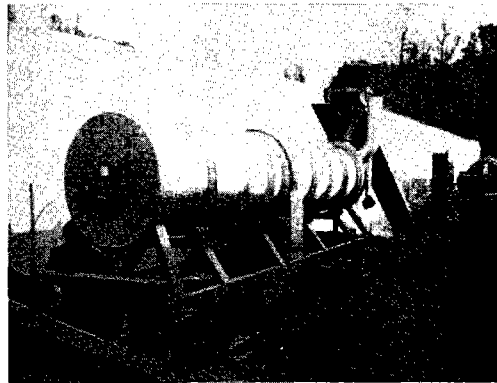
(a) Input process



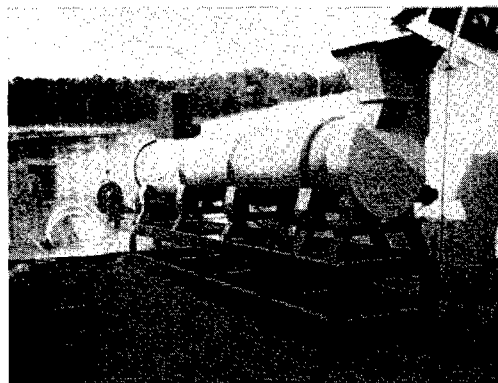
(b) Mixing process



(c) Compression and cut off process



(d) Low thermal treatment process



(e) High thermal treatment process



(f) Produce of fresh artificial media

Fig. 2. Photographs of production process using sludge

20mm 크기로 압출 및 절단가공 과정을 통하여 성형된 구상의 입자를 연속유동식 회전건조조에 투입하여 300℃~500℃의 열풍으로 수분함량 20% 이하가 되도록 건조시킨 다음, 회전소성로에 연속적으로 투입하고 800℃~1,100℃의 온도로 소성하여 고온 소성물인 인공배지를 얻는다.

인공배지 생산공정은 안정화장치, 성형기, 건조기, 저온소성기, 고온소성기, 분쇄기로 구성되어 있으며 Fig. 2에서 보는 바와 같다. Fig. 2(b)는 안정화 장치로서 슬러지와 첨가재를 혼합비에 따라 교반해 주며 혼합비는 슬러지의 함수비와 특성에 따라 결정되며, 슬러지를 중량비 100kg을 기준으로 하여 슬러지, 첨가재(자바사이트), 생석회 등을 혼합기에 넣고 균일하게 혼합반죽하여 시료를 안정화 시킨다.

Fig. 2(c)는 35마력 스크류형 성형기로서 인공배지 입자직경 5mm~20mm범위에서 용도별 생산이 가능하도록 제작되었고, 안정화된 시료를 15mm 직경으로 압출하여 둥근 성형체로 만든다.

Fig. 2(d)는 건조기로서 직경 1.2m, 길이 8m이며 내부에 내화벽돌(SK32)을 부착시키고 300~500℃의 열풍을 가하여 건조시키는데, 이 과정은 슬러지의 함수비를 조절하는데 그 목적이 있으므로 함수비에 따라 이 공정을 생략 또는 반복이 가능하다. 고온소성기는 Fig. 2(e)와 같이 직경 1.2m, 길이 10m로서 건조기와 마찬가지로 소성로 내부에 내화벽돌(SK32) 3,000장 정도를 부착시켜서 내열을 막고 800℃~1,100℃의 온도로 혼합과 건조과정이 끝난 슬러지를 회전로에서 고온소성시키는 과정이다. 본공정을 통하여 대부분의 유기물은 소각되어지고 다공질형태의 인공배지가 생산되는데, 이때 소성온도 및 소요시간에 따라 인공배지의 형태 및 특성을 조절할 수 있다.³⁾

3. 작물적응성 시험

고온소성과정을 통하여 생산된 인공배지의 작물적응성 등을 조사하기 위하여 인공배지를 밭토

Table 2. Mixing ratio of artificial media and upland soils(%)

Artificial media from water treatment sludge	100	0	0	50	0
Artificial media from Waste water treatment sludge	0	100	0	0	50
Upland soils	0	0	100	50	50

Table 3. pH and electrical conductivity of the mixed media and upland soil

Mixing ratio	pH	EC
upland soil (100%)	7.21	72.5μS/cm
Artificial media from water treatment sludge(50%) + upland soil(50%)	9.09	161.9μS/cm
Artificial media from Waste water treatment sludge(50%) + upland soil(50%)	10.55	6.88mS/cm

양과 적정비율로 혼합하여 Pot에 채운 후 공시 작물로 선정된 콩과 옥수수를 파종, 발아된 작물을 일반재배 관리하였다.

시험구 설계는 완전임의배치법 3반복으로 하였으며, 재배관리는 중부지방의 관행재배법에 준하고, 작물의 생체중, 건물중, 엽면적 등의 주요 항목을 조사하였다.

III. 결과 및 고찰

상·하수 슬러지를 열처리공정을 통하여 인공배지로 생산하였고, 생산된 소성물인 인공배지의 조성광물 화학분석 및 이·화학적성분을 조사하여 작물생산용 배지로서 적합한지를 판단 하였다.

소성재료로 사용한 상하수 슬러지 및 chabazite, 그리고 소성물들의 조성광물 화학성분들을 XRF(x-ray fluorescence) 방법을 통하여 분석한 결과는 Table 4에서 보는 바와 같다. XRF의 분석조건은 PHILIPS PW1480 X-Ray Fluorescence Sequential Spectrometer를 사용하였으며 측정강도를 얻기 위한 전류 및 전압은 각각 30mA

와 40KV였다.

시편제작을 위해서 95℃에서 ignite한 시료와 dilithium tetraborate(Li₂B₄O₇)를 1:5로 혼합하여 automatic bead machine으로 1,200℃에서 fusion시켜 glass bead로 제작하여 분석에 사용하였다. Calibration에 사용한 표준물질은 USGS에서 제작한 국제공인표준물질(SRM, standard reference material) 12개와 상용으로 시판되는 MBH Analytical의 표준물질 12개 등이었다. Table 4에서 L.O.I.는 강열감량치라고 부르며 100℃일 때의 중량에서 1,000℃일 때의 중량을 뺀 값을 100℃일 때 중량으로 나누어 %로 표시한 값으로 지질학분야에서는 암석의 풍화정도를 나타내는 지표로도 널리 사용되고 있다(박춘식, 1996).⁵⁾

상하수슬러지의 고온소성물들은 모두가 chabazite의 광물조성 내용을 비교해 볼 때 SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃등 함량비가 거의 흡사한 것을 알 수 있다. 따라서 고온소성시킨 소성물 즉, 인공배지는 특성이 자연광물인 chabazite와 비슷하며 자

연토양과 거의 유사할 것으로 예상된다. 그런데 CaO는 생석회성분으로서 함량비가 고온소성물들에서 chabazite보다 훨씬 높아서 농경지에 혼합하여 사용하였을 경우 산성토양의 중화효과를 기대할 수 있는 유용한 성질을 가지고 있다고 할 수 있다. 이와 같은 광물조성분석에 의하면 고온소성한 소성물들은 상수 슬러지나 하수 슬러지에 관계없이 안정적인 토양으로서 chabazite와 유사한 성질을 가지며 산성토양의 중화능력을 갖춘 배지로서 농경지에 매우 유익하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

그리고 슬러지, 자바사이트(첨가재) 및 인공배지의 이·화학적 특성은 Table 5에서 보는 바와 같다. 소성처리된 상·하수슬러지의 pH는 모두 중성에 가까운 7~8사이를 나타내고 있지만, 처리후에는 13에 가까운 강알카리로 나타나 일반적인 배지의 pH인 5.4~6.0보다 큰 값을 보이고 있다. 이러한 이유는 첨가재인 자바사이트나 석회의 높은 pH때문인데, 앞으로 첨가재의 종류나 양을 조절하면 pH의 조정이 가능하며, 산성화된 토양에 적정량을 사용시 토질개선에 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.

OM의 경우 열처리를 마치고 난 후 그 양이 15~30배까지 줄어들어 극히 소량만이 잔존하므로 배지로서의 역할을 충분히 할 수 있을 것으로 판단된다. 인공배지의 T-N은 상·하수 슬러지를 처리한 두가지 모두에서 나타나지 않아 용해된 질소에 의한 유출이나 침투를 통해 수질오염이나 토양오염이 되는 것을 방지할 수 있다는 측면에서 환경오염방지에 큰 역할을 한다.

T-P는 다른 성분에 비하면 감소량이 다소 적으나 첨가재인 자바사이트의 T-P를 감안한다면 전체적인 양은 감소되었다. CEC는 슬러지 상태에서는 발견되지 않았으나 소성처리를 거친 인공배지의 경우는 자바사이트의 영향을 받아 발견되는 것을 볼 수 있어 작물 생산용 배지로 적합한 성격을 띠게 된다.

EC의 경우는 상수 슬러지를 처리한 인공배지에

Table 4. Chemical analysis of constituent mineral of artificial media and sludge

Constituent mineral	Artificial media		Sludge		Chabazite
	water treatment Sludge	waste water treatment Sludge	water treatment	waste water treatment	
SiO ₂	59.94	53.08	40.50	23.94	59.60
Al ₂ O ₃	21.30	16.90	25.23	11.42	19.51
CaO	5.90	18.32	0.57	2.83	0.38
Fe ₂ O ₃	6.87	5.38	5.55	4.30	8.48
MgO	1.45	1.62	1.39	0.92	0.85
K ₂ O	2.36	2.07	1.93	1.40	2.59
P ₂ O ₅	0.31	0.70	0.45	3.51	0.07
TiO ₂	0.90	0.70	0.62	0.44	1.09
MnO	0.15	0.14	0.13	0.23	0.18
Na ₂ O	0.54	0.43	0.59	0.46	0.03
L.O.I	0.22	0.14	22.32	50.37	7.58
Total	99.94	99.58	99.28	99.82	100.36

Unit : Weigh %, Fe₂O₃ : Total Fe, L.O.I. : Loss On Ignition

Table 5. Characteristics of sludge, chabazite and artificial media

	Water treatment sludge	Waste water treatment sludge	Artificial media from water treatment sludge	Artificial media from waste water treatment sludge	Chabazite	Unit
pH	8.60	7.51	11.58	12.92	6.70	
EC	1,234	2,108	852	10.96 × 10 ³	48.3	μS/cm
OM	32.91	14.24	0.54	0.71	1.01	%
CEC	—	—	3.70	5.20	20.30	meq/100g
T-N	0.42	3.32	ND	ND	ND	%
T-P	360.16	666.68	294.07	288.64	528.99	ppm

서는 그 값이 감소하여 배지로서 기준인 1mS/cm 이하에 적합하다. 그러나 하수 슬러지를 처리한 인공배지에서는 증가되어 첨가재인 석회의 양을 조절할 필요성이 있다.

슬러지를 이용하여 생산한 인공배지를 농자원 화시켜 작물재배를 위한 토양개량재나 배지로 사용하기 위해서는 Table 5와 같은 이·화학적 성질외에 유해성 분석이 있어야 한다. 토양환경보전법에서는 사람의 건강 및 재산과 동·식물의 생육에 지장을 주어서 토양오염에 대한 대책을 필요로 하는 기준을 “토양오염대책기준”이라고 정하여 관리하고 있다. 인공배지 생산과정에서 유기물은 대부분 연소되고 잔류한 무기물인 중금속성분에 관한 유해 여부가 관심인데, Table 6에서는 인공배지의 중금속성분을 분석하여 토양환경보전법의 토양오염대책기준과 비교하였다.

Table 6에서 보듯이 Cd은 하수 슬러지를 처리한 인공배지의 경우 그값이 현저하게 떨어지는 것을 볼 수 있고, 상수 슬러지를 처리한 인공배지의 Cd이 약간 증가한 것을 발견할 수 있는데, 이는 첨가재로 사용된 자바사이트가 영향을 미친 것으로 판단된다. 그러나 이 둘의 평균치보다 낮은 값이 검출되므로 전체적으로 볼때는 감소한 결과가 된다. Cu와 As의 경우도 비슷한 결과가 나오고 있으며, 하수 슬러지를 소성처리한 인공배지는 그 값이 1/4 이하로 적어지는 것으로 나타나 있다. Hg은 하수 슬러지나 자바사이트에 함유되어 있었음에도 불구하고 소성처리후에는

Table 6. Concentration of heavy metals in artificial media and soil quality criteria

(unit : ppm)

Heavy metals	Artificial media from water treatment sludge	Artificial media from waste water treatment sludge	Soil quality criteria*
Cd	0.75	0.58	4
Cu	41.29	76.23	125
As	11.26	9.64	15
Hg	ND	ND	10
Pb	17.64	14.31	300

*토양환경보전법의 토양오염대책기준(홍문관, 1996, 환경관계법규Ⅲ)⁸⁾

상·하수 슬러지를 처리한 인공배지의 모두에서 검출되지 않았다. 특히, Pb는 소성처리전 슬러지에서는 다량이 함유되어 있지만 인공배지에서는 농도가 1/8 이하로 매우 약해짐이 관찰된다. 이외에도 생산된 인공배지의 중금속 농도가 토양오염대책기준보다 모두 낮아서 논·밭·과수원·목장용지와 같은 농경지에 인공배지를 사용하여 조성하여도 유해성으로 인한 식물의 생육피해는 별로 없을 것으로 고려된다.

이상과 같이 인공배지의 중금속 농도는 작물 생산의 유해적 요인이 적을 뿐만 아니라 인공배지를 기존의 농경지와 같은 토양에 적정량 혼합하였을 경우에는 기존의 토양과 섞여 농도가 더욱 낮아져서 유해성문제는 거의 없을 것이며, 토양개량재로서의 유용한 기능을 기대할 수 있다.

경제성에 있어서도 기존의 매립 처리비용에 비교하면 매우 저렴하다. 또한 인공배지는 매립처리에 비해 처리 후 재오염 가능성이 없으며 오히려 농업에 유익한 자원으로 재활용할 수 있으므로 실용화를 위한 추가연구가 이루어지면 슬러지 처리문제에 크게 도움을 줄 수 있을 것이다.

상·하수 슬러지의 열처리 공정 전·후의 이화학적 특성을 5반복으로 조사한 결과를 보면 다음과 같다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 고온소성 과정을 통해 생산된 인공배지의 pH는 13에 가까운 강한 알칼리성을 띠고 있으므로 화학비료의 과다사용으로 인해 산성화된 우리나라의 토양에 적정량을 사용하면 토양의 성질을 개량하는데도 유용하게 사용될 수 있다. 또한 OM값은 Fig. 4와 같이 거의 검출되지 않았으므로 배지로서의 요건을 만족한다고 판단된다. T-N과 T-P 역시 Fig. 5 및 Fig. 6에서 보는 바와 같이 소성과정을 거친 후에는 본래의 Sludge의 값보다 현저히 줄어들기 때문에 배지로서 또는 토양개량재로서 사용을 하여도, 인과 질소로 인한 수질오염이나 토양오염의 방지효과에도 큰 역할을 하여 환경보호측면에서 보더라도 높게 평가 할 수 있다.

열처리과정에서 소성온도와 시간, 공기혼입량 등을 조절하여 유기물의 연소정도를 조절하여 인공배지를 만들 경우 인공배지의 내부가 활성탄형태를 띠게 되어 흡착력이 증가되어 공장폐수나 골프장 농약제거 등 중금속 제거가 가능하여 유해

물질을 정화하는데도 사용될 수 있다.

앞에서 설명한 바와 같이 슬러지에 혼화재를 혼합·소성하여 인공배지를 생산하였으며, 생산된 인공배지의 이·화학적특성과 유해성을 검토한

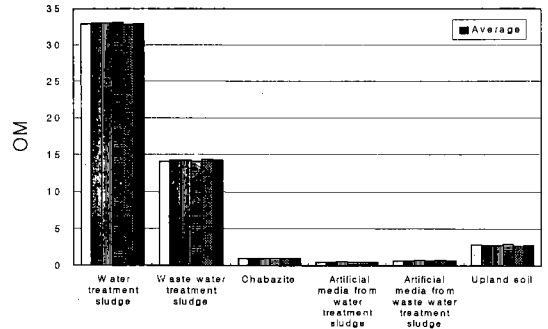


Fig. 4. OM in sludge, chabazite, artificial media, and non-irrigated upland soil

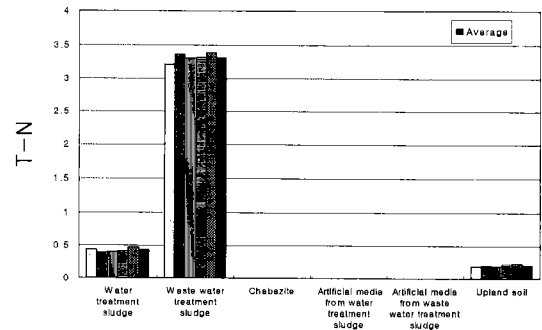


Fig. 5. T-N in sludge, chabazite, artificial media, and non-irrigated upland soil

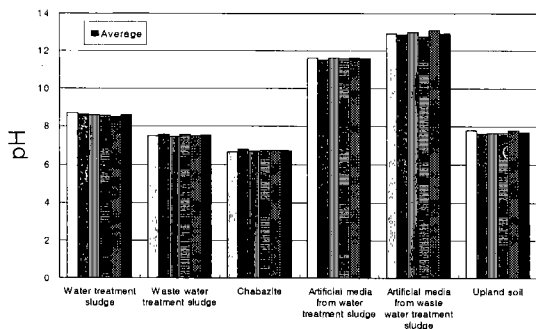


Fig. 3. pH in sludge, chabazite, artificial media, and non-irrigated upland soil

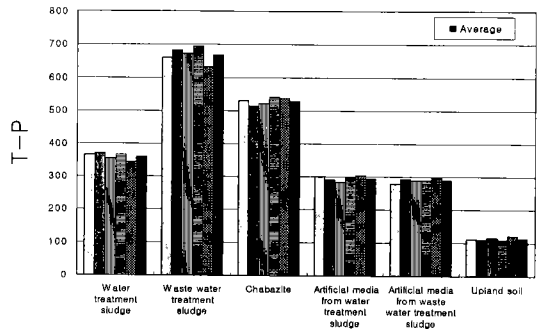


Fig. 6. T-P in sludge, chabazite, artificial media, and non-irrigated upland soil

결과 작물에 대한 유해성은 없는 것으로 판단되며, 농업용 재활용품으로 활용이 가능하다.

인공배지 생산비용은 매립이나 투기에 소요되는 비용과 비교하여 훨씬 경제적이며, 특히 자원의 재활용 측면에서 그 의의가 있다. 또한 일반적으로 탈수과정을 거친 슬러지는 탈수시킨 후에도 물과 혼합하면 다시 팽윤하여 재오니화하는 특성이 있어 처리후에도 문제를 발생할수 있는 점에 비하여, 고온소성하여 생산한 인공배지는 장시간 물속에 잠겨있어도 팽윤하지 않고 높은 투수성을 유지하는 것으로 조사되었다.

본 공정에서 사용되는 상·하수 슬러지의 수분함량은 60~80% 정도이고, 고온처리 공정을 마친 소성생성물 입자들은 다공질이면서 유기물에 의한 탄화물이 완전연소된 상태로서, 수분과 재접촉되어도 수화되지 않고 둥근 입자상태를 유지하게 되어 식물재배용 배양토로 사용할 경우 탁월한 통기성과 보수성이 식물생장에 좋은 효과가 있을 것으로 기대된다. 또한 본 공정에서 생산된 인공배지는 고온의 열처리 과정에서 유기물이 대부분 연소되어 질소는 거의 검출되지 않았고 인성분도 많이 감소하여 배지로서의 조건을 만족하고 있으며, 알카리성을 띠고 있어 산성화된 토양 대신 원예 및 시설농업용 배지로 사용할 수 있어 무공해 수경재배에 이용할 경우 시설비의 절감과 관리운영개선 및 연작 피해개선에도 효과적일 것으로 판단된다.

또한 인공배지의 생산공정을 인위적으로 조작이 가능하므로 물리적·화학적 특성을 조절하여 용도에 따라 다양한 농자원과 재활용품의 생산이 가능하다.

인공배지의 생산 및 농자원으로서의 본격적인 실용화를 위해서는 이상의 실험결과를 기초로 하여 다양한 혼화재의 사용, 혼합비의 변화, 소성온도의 변화등의 더욱 많은 연구를 필요로 하며 인공배지를 이용한 작물재배 시험, 농경지에 혼합하였을 경우에 토양의 이·화학적 특성변화 및 시간의 경과에 따른 인공배지의 마모에 의한 중

금속의 유출 가능성등 작물에 장기적으로 미치는 영향에 관한 추가적인 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

IV. 결 론

도시지역에서 발생하는 하수를 처리하는 하수종말처리장 및 정수장의 슬러지를 열처리하여 인공배지를 생산하는 방법을 개발하였다. 인공배지의 이·화학적특성과 유해성을 검토하여 농업에의 활용방안을 조사하였으며, 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 상·하수 슬러지를 고온소성시킨 인공배지는 그 특성이 자연광물인 chabazite와 비슷하며 자연토양과 거의 유사한 것으로 생각된다. 광물 조성 분석결과에 의하면 고온소성한 소성물들은 상수 슬러지나 하수 슬러지에 관계없이 안정적인 토양으로서 chabazite와 유사한 성질을 가지며 산성토양의 중화능력을 갖춘 배지로서 농경지에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

2) 생산된 인공배지의 이·화학적특성과 유해성을 검토한 결과 중금속 성분인 Cd, Cu, As, Pb 등은 모두 토양오염대체기준보다 적게 검출되었으며, 특히 Hg의 경우는 검출이 되지않아, 작물에 대한 유해성이 없어 배지나 비료로서 활용될 수 있는 것으로 나타났다.

3) 일반적인 탈수과정만을 거친 슬러지는 물과 혼합하면 다시 재오니화하는 특성이 있으나, 슬러지를 소성하여 생산한 인공배지는 장시간 물속에 잠겨있어도 팽윤하지 않고 높은 투수성을 유지하였다.

4) 인공배지는 고온소성과정에서 유기물질이 소각되므로 다공질의 형태를 띠며 중량이 적어 작물재배를 위한 배지로서의 충분한 조건을 지니고 있다.

5) 인공배지의 생산 및 여러 가지의 제품으로서의 본격적인 실용화를 위해서는 이상의 실험결과를 기초로 인공배지를 이용한 작물재배 시험과

농경지에 혼합하였을 경우에 토양의 이·화학적 특성변화 및 장기적으로 미치는 영향 등에 관한 계속적인 연구가 뒤따라야 할 것으로 판단된다. 또한 새로운 첨가재의 개발, 배합비율 및 조성온도의 조절 등을 통하여 암거배수 조직의 소성온도로 이용할 수 있는 방법에 대해서도 앞으로 추가적인 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

본 논문은 1997년도 교육부 학술연구 조성비 지원과제 “상하수 Sludge 및 오염 토양의 특성분석 및 열처리 방법의 기초연구(2년차 도시발생 폐기물을 이용한 환경친화적 인공배지 생산기술 개발)”의 일부 결과임

참 고 문 헌

1. 건국대학교 농과대학, 주식회사 한미기연, 1997, 상·하수 슬러지 등을 이용한 복토재, 토양개량제 및 인공배양토, 오폐수정화토, 집배수재로서 자원화 재활용 방안.
2. 김선주, 윤춘경, 이남출, 1997, 슬러지를 이용한 인공토양 생산 및 농자재화 가능성 연구, 한국농공학회지, 39(5), 64~70.
3. 김선주, 맹원재, 김기성, 1997, 상하수 Sludge 및 오염토양의 특성분석 및 열처리방법의 기초연구, 건국대학교 농업자원개발연구소.
4. 농림부, 1994, 비료공정규격.
5. 박춘식, 1996, 풍화토의 특성, 도서출판 엔지니어스.
6. 이남출, 나상우, 1995, 회전로의 소성장치, 실용신안등록출원서-95 제1613호.
7. 임병조, 김영수, 1996, 토질시험법, 형설출판사.
8. 집문사, 1995, 화학공학편람, 화학공학편람편찬위원회.
9. 홍문관, 1996, 환경관계법규 III, 토양환경보전법 토양오염대책기준[별표 3].
10. 홍문관, 1996, 환경관계법규 III, 폐기물편.
11. Canadian Society of Soil Science, 1993, Soil Sampling and Methods of Analysis, Lewis Publishers.
12. Davis, M. L. and D. A. Cornwell, 1991, Introduction to Environmental Engineering, McGraw-Hill.
13. Metcalf & Eddy, 1991, Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse, Third Edition, McGraw-Hill.
14. Methods of Soil Analysis, 1986, Part1: Physical and Mineralogical Methods, Second Edition, American Society of Agronomy, Inc., Madison, WI.
15. Methods of Soil Analysis, 1986, Part 2: Chemical and Microbiological Properties, Second Edition, American Society of Agronomy, Inc., Madison, WI.