

정수장슬러지(Alum sludge)를 이용한 인공배양토 개발에 관한 연구

구자공, 임재신, 문용택*, 이인복**

한국과학기술원 토목공학과, *한국수자원공사 수자원연구소,
**충남대학교 농과대학 농업과학연구소

A Study on the Artificial Culture Soil Using Alum Sludge

Ja-Kong Koo, Jae-Shin Lim, Yong-Taik Moon, In-Bog Lee

Dept of Civil Engineering, KAIST, 373-1, Kusong-dong, Yusong-gu, Taejon 305-701, Korea

* Water Resources Research Institute, Korea Water Resources Corporation,
462-1, Jon min-dong, Yusong-Gu, Taejon, Korea

** Institute of Agricultural Science, Chungnam National University,
220, Kusong-dong, Yusong-gu, Taejon 305-764, Korea

ABSTRACT

The objective of this study is to improve the function of an artificial culture soil which was mixed mainly with alum sludge. The artificial culture soil was more efficient than the commercial culture soil for the growth of perennial ryegrass and bush clover. Artificial culture soil was prepared paper sludge(40%), alum sludge(30%), sewage sludge(20%), and compost (10%). This artificial culture soil had no adverse effect on phytotoxicity tests. The alum sludge gives some water holding capacity and cohesion strength to the soil enough to require no other addition of adhesive agents. The leaching of aluminum from the alum sludge was negligible even at very low pH(=2) due to the mixed compost.

Key Words : Artificial culture soil, Alum sludge

초 록

인공 배양토의 기능을 향상시키기 위해서 정수장 슬러지를 주원료로한 인공 배양토 개발에 관한 연구를 수행하였다. 기존에 시판되고 있는 인공 배양토보다 제지 슬러지, 하수 슬러지, 완숙 퇴비, 정수장 슬러지를 각각 40, 20, 10, 30% 혼합하여 제조한 인공 배양토가 perennial ryegrass, 싸리나무에 대한 식물생육에 효과적이

었다. 식물독성실험에서도 정수장 슬러지를 혼합한 시료에서는 식물독성이 나타나지 않았다. 또한 정수장 슬러지는 인공 배양토의 보수력 및 접착력 증가에 긍정적인 영향이 있었다. 정수장 슬러지는 알루미늄을 다량 함유하고 있으나, 퇴비와 혼합하였을 경우 pH 2의 낮은 pH에서 Al의 용출이 거의 없었다.

주제어 : 인공배양토, 정수장슬러지

1. 서 론

도로 건설, 골프장 건설 및 리조트 개발과 같은 토목공사에 의해서 발생하는 절토면이나 암벽절개지를 그대로 방치할 경우에는 자연경관을 크게 해칠 뿐만 아니라, 강우에 의한 토양 유실로 대규모 사고를 유발할 수 있으므로 이들을 자연상태로 복원하는 것은 필수적이다. 이와 같이 자연상태로 식생을 복원하기 위하여 인공녹화 기술이 사용되고 있으며, 이 기술은 현대사회의 가치관과 다양화에 수반해서 보다 쾌적한 생활환경의 조성을 목표로 보다 고도로, 보다 첨단적으로 발전하고 있다(이기철, 1992).

국내의 현행 법면 인공녹화공법은 주로 펄프슬러지, 비산재(fly ash), 마사토, 하수 슬러지, 볏짚 등의 폐기물을 적절히 재활용하여 자연경관을 녹화하고 있으나, 인공녹화의 대상이 되는 암벽절개지와 같은 제한된 환경에서 식물이 생육하기 위해서는 인공 배양토의 기능 증진 및 보완이 절실한 실정이다. 따라서 인공 배양토의 식물영양학적 기능강화, 접착력과 수분보유능의 증진으로 제한된 식생지역에서의 식물의 조기 식생을 유도하고, 시공의 편리성 및 경비절감에 관한 연구가 필요성이 인식되어 정수장 슬러지를 인공배양토 재료의 일부로 사용함으로써 인공 배양토의 기능증진을 위한 연구가 필요하다.

수자원공사의 보고에 의하면 수자원공사가 관리하고 있는 수처리 시설에서 발생하는 슬러지 발생량은 합수율 80%의 습윤슬러지 기준으로 현재 연

간 57,230톤, 2001년에는 연간 167,000톤에 이를 것으로 추산되고 있으며, 이에 따른 처분비용(31,000원/톤)은 연간 18억원에서 52억원으로 증가될 것으로 예측된다. 또한 슬러지 처리시설의 건설비와 매립비용은 정수 생산량 비용이 추가로 소요되어 정수생산원가를 상승시키는 요인이 되고 있다(한국수자원공사, 1996).

정수장 슬러지의 구성성분은 주로 원수에 부유하는 점토 및 미사입자, 조류, 그리고 원수정화를 위해 첨가된 응집제 등이므로 흙과 가장 유사한 폐기물로서 농업용, 원예용, 조경용 상토 등으로 활용이 가능한 물질로 알려져 있다(鬼頭, 1992; Naylor et al, 1987). 또한 정수장 슬러지의 pH와 CEC면에서 볼 때 사질토양 객토용이나 화분용 식물배지의 대체물질로 매우 유용하게 이용될 수 있고, 잔디와 같은 화본과 식물에는 규산보급효과가 있었고, 차나무에도 생육효과에 긍정적인 효과가 인정된다고 보고한 바 있다(김홍석 등 1996).

또한 정수장 슬러지는 alum을 응집제로 이용하고 있어 정수장 슬러지가 토양에 사용될 때 식물의 인산흡수가 감소하는 원인이 되기도 하지만(Elliot과 Dempsey, 1991; Heil et al. 1989; Grabarick et al. 1987), 정수장 슬러지의 토양 시용시 토양의 특성 및 작물의 생육증진에 긍정적인 효과가 인정된다고 보고되었다(김 등, 1997; 장 등, 1995; 장 등, 1996). 이러한 정수장 슬러지의 특성을 이용한 鬼頭와 吉田(1992, 1993) 등은 정수장 슬러지를 주재료로 한 인공배양토의 연구에서 식물

의 생육에 유용한 효과가 있음을 보고한 바 있다.

본 논문에서는 정수장 슬러지를 인공 배양토의 주원료로 이용하여 보수력, 집착력 및 식물생육의 효과를 검토한 결과를 보고하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 실험재료 및 분석방법

인공배양토의 원료는 정수장 슬러지(수자원공사 D정수장), 제지 슬러지(H 제지), 하수 슬러지(D 시), 완숙퇴비(돈분 + 톱밥)를 사용하였으며 그 특성에 대해서는 결과부분에 언급하였다. 분석방법에 있어서 재료의 pH는 1:5법, 탄소는 Tyurin법, N은 Kjeldahl법, P는 바나도-몰리브덴산법, CEC는 1N-NH₄OAc법으로 분석하였으며, 기타 중금속은 습식분해한 후 ICP-AES로 분석 정량하였다.

2.2 pH변화에 따른 시간별 Al 용출량 조사

pH변화에 따른 시간별 Al의 용출량을 조사하기 위하여 시료를 Table 1과 같이 준비하고 1-N HCl로 pH를 2, 4, 7, 10으로 각각 조절후 6, 16, 24, 42 시간 간격으로 Al의 용출량을 조사하였다.

2.3 식물생육효과 측정

식물생육효과를 측정하기 위하여 인공 배양토의 원료로 사용된 제지 슬러지, 하수 슬러지, 정수장 슬러지와 퇴비의 혼합을 Table 2와 같이 제조하였다. 대조구는 시판되어 기존에 법면녹화용 인공 배양토로 이용되고 있는 N회사의 제품을 이용하였다.

공시 식물은 법면녹화에 가장 많이 이용되고 있는 초본류인 Perennial ryegrass와 관목류인 싸리나무를 사용하였으며, 각각 3반복 난괴법으로 실시하였다.

2.3.1 Perennial ryegrass

1/5000a Wagner pot에 시료를 충전후 종자 5g을 파종하여 자연조건에서 2개월간 재배한 후 지상부와 지하부를 채취하여 생중량으로서 수량을 조사하였다.

2.3.2 싸리나무

묘포장에서 자란 초장 20cm의 싸리나무를 선별하여 배양토 시료가 충전된 1/2500a Wagner pot에 1본씩 식재후 자연조건에서 1년 3개월간 재배한 후 싸리나무의 생중량을 측정하여 생육정도를 조사하였다.

2.4 보수력 측정

Table 1. Effect of pH on Al Leaching

Sample	A	B	C
Component	Alum sludge 100%	Alum sludge 40% + Soil 60%	Alum sludge 40% + Compost 60%

Table 2. Treatment of Samples for Plant Nutrient Experiment

Treatments Components	AS 1	AS 2	AS 3	AS 4	Control
Paper sludge	40	40	40	40	Commercial culture soil
Waste water treatment sludge	40	30	20	10	
Alum sludge	10	20	30	40	
compost	10	10	10	10	

기존 시판되고 있는 인공 배양토와 정수장 슬러지를 30%혼합한 AS 3시료(Table 6)에 대해서 보수력 측정을 실시하였다. 보수력은 1/3기압에서 다공질 가압판(pressure plate apparatus)을 사용하여 측정하였다. 각 시료는 3회 반복하여 평균값으로 나타내었다.

2.5 접착효과 측정

현장시공에서 가장 많이 사용하고 있는 접착제인 CMC(Sodium Carboxymethyl Cellulose)와 Polyvinyl계 점도증가제 0.3%를 기존시판 배양토와 균질하게 혼합한 처리구와 접착제를 혼합하지 않은 AS 3(정수 슬러지 30% 함유)처리구를 100cm²의 면적을 갖는 코어에 시료를 완전히 충전하고, 450 경사를 유지한 상태에서 코어 표면에 인공강우(강우강도 100mm/hr)를 10분간 살수하여 코어표면에서 유실되는 시료를 수집하여 건조중량으로 정량하여 접착효과를 간접적으로 측정하였다.

실험은 코어에 시료를 충전 후 1일, 5일, 10일 간격으로 실시하였다.

2.6 식물독성실험

기존 시판제품과 alum sludge를 혼합한 인공 배양토 시료의 물추출물 조제를 위하여 시료 1g에 대하여 25ml 증류수를 가한 다음 60℃에서 3시간동안 환류냉각하에서 추출하였다(이인복, 1997).

균을 제거하기 위하여 추출물은 0.45 μ m 막으로

여과하였다. 여과한 여액 6ml를 여과지가 깔린 9cm petridish에 가한 후 Perennial rygrass 종자 20개씩을 파종하여 온도는 28℃, 습도 80%로 조절된 생육상 내에서 발아율을 조사하였다. 대조구는 증류수를 이용하였으며 5회 반복실험을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 사용된 재료의 이화학적 특성

3.1.1 정수장 슬러지

인공 배양토의 원료로 이용한 정수장 슬러지의 이화학적 특성은 Table 3과 같다.

정수장슬러지의 pH는 일반토양 평균치인 5.5~6.5범위보다 약간 높은 7.4로서 중성을 보이며, 토양물리성 개량의 지표인 유기물 함량은 논과 밭의 개량목표치인 2.0~3.0%에 비하여 15.2%로서 상당히 높게 나타났다. 질소의 무기화에 영향을 미치는 C/N비는 약 22로써 일반토양의 C/N비 8~12에 비교하여 높게 나타나고 있다.

3.1.2 제지 슬러지

제지 슬러지중 일부는 크롬 및 납과 같은 중금속의 함량이 비교적 높고, 펄프 및 제지슬러지의 표백과정에서 사용하는 염소 및 염소계 유도체의 화학반응으로부터 생성되는 tetrachlorodibenzo-p-dioxin(TCDD)과 tetrachlorodibenzofuran

Table 3. Chemical Properties of Alum Sludge Used

pH (1:5)	EC (mS/cm)	O.M (%)	N	P	K	Ca	Mg	Na	Al	Fe	CEC (cmol/kg)
			%								
7.4	0.5	15.2	0.4	0.1	0.72	0.32	0.31	0.16	7.30	2.33	11.8

Table 4. Chemical Properties of Paper Sludge Used

pH (1:5)	EC (mS/cm)	O.M (%)	N	P	K	Ca	Mg	Na	Al	Fe	CEC (cmol/kg)
			%								
6.9	6.4	56.1	0.7	0.2	0.29	0.26	0.65	0.29	8.18	0.60	18.0

(TCDF)이 발암물질로 알려져 있어 미국의 경우 제지 슬러지는 위해성 폐기물로 분류하고 있다. 그러나 Kraft지와 같은 판지 슬러지는 표백제를 사용하지 않을 뿐 아니라 중금속의 함유량도 극히 적어 농업적으로 이용하여도 잠재적인 위해성이 거의 없다.

더욱이 Table 4에 제시한 제지 슬러지의 특성에서 살펴본 바와 같이 제지 슬러지는 유기물 함량이 현저히 높아 식물에 가용한 수분함량의 유지 및 보존력이 강하고, 영양성분의 보유 및 유지력이 크다. 또한 pH는 비교적 중성에 가깝고, 유기물 및 알루미늄 함량이 높아 pH에 대한 완충력이 매우 강하여 산성비에 의한 토양산성화 및 이미 산성화된 토양 내에서 산성화에 따른 작물의 생육장애를 현저하게 완화할 수 있는 것으로 알려져 있다.

3.1.3 하수 슬러지

Table 5에 제시한 바와 같이 본 실험에 사용된 하수 슬러지의 pH는 중성이었으며, 유기물 및 질소, 인산, 칼리의 함량이 높아 식물영양학적 이용 가능성이 높은 것으로 판단된다.

3.1.4 완속퇴비

호기성 퇴비화 공법으로 정상적인 공정을 거쳐 조제된 완속퇴비의 이화학적 특성은 Table 6에 나타내었다. 완속퇴비의 pH는 중성의 특성을 보였으며, 탄질비는 26으로써 식물의 생육에 문제가 없을

것으로 판단되었다. 특히 본 완속퇴비는 식물양분인 질소, 인산, 칼리 및 석회의 함량이 풍부하고 국내 무기질 토양에 비해 양이온치환용량이 높아 식물의 생육을 위한 배지로의 이용 가능성이 높은 것으로 판단된다.

3.2 pH변화에 따른 시간별 Al 용출량 조사

정수장 슬러지는 그 발생공정에 황산알루미늄($Al_2(SO_4)_3$) 또는 폴리염화알루미늄을 응집제로 사용하기 때문에, 상당한 양의 알루미늄을 함유하고 있다. 일반적으로 토양의 pH가 5.3이상에서는 알루미늄이 불활성화되어 알루미늄의 용출에 의한 인산 고정 문제는 무시할 수 있으나, 배양토가 시공되는 절개지는 주로 교통량이 많은 도로주변에 위치하게 되어 자동차 배기가스 등에 함유된 질산화물(NO_x), 일산화탄소 및 황산화물(SO_x) 등이 시공된 배양토에 흡착되거나, 산성우에 의해 점차적으로 배양토의 pH가 낮아지면 배양토에서 용출된 Al이 식물체에 흡수되어 식물 유전자복제를 저해함으로써 식물생장을 방해하고, 인산의 식물체내 이동을 억제하여 일부는 인산고정화를 일으킬 수 있다.

Fig. 1은 정수장 슬러지에 대한 시간에 따른 pH변화를 나타낸 결과로써 pH 2에서만 24시간 이후 pH 4부근으로 변화 했으나, 나머지는 24시간 이후 pH 7부근으로 변화하여 pH에 대한 완충력이 있음을 알 수 있다.

Table 5. Chemical Properties of Waste Water Treatment Sludge Used

pH (1:5)	EC (mS/cm)	O.M (%)	N	P	K	Ca	Mg	Na	Al	Fe	CEC (cmol/kg)
7.2	11.5	36.2	3.2	1.0	0.56	0.56	0.14	0.27	3.28	1.61	17.1

Table 6. Chemical Properties of Compost Used

pH (1:5)	EC (mS/cm)	O.M (%)	N	P	K	Ca	Mg	Na	Al	Fe	CEC (cmol/kg)
7.1	16.7	36.3	0.8	0.5	0.34	0.30	0.45	0.21	1.34	0.79	21.4

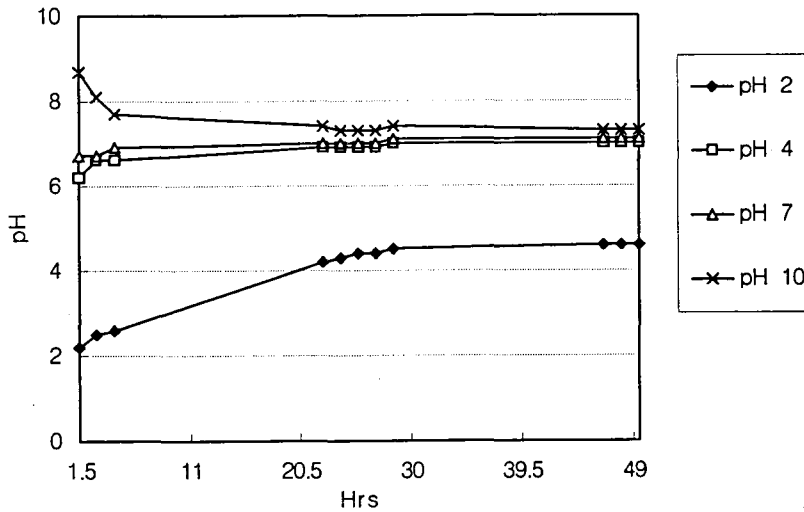


Figure 1. Temporal variation of pH.

Table 7은 초기 pH를 2, 4, 7, 10으로 조절 후 시간에 따른 Al 용출량을 조사한 결과를 나타낸 것이다.

정수장 슬러지 및 인공 배양토의 pH별(2, 4, 7, 10) Al용출량을 시간별(6, 18, 24, 42시간)로 측정 결과 100%정수장슬러지는 pH2 조건하에서 1, 837ppm에서 2,040ppm까지 많은 양의 알루미늄이 용출되었으나, pH4와 pH10에서는 각각 1.5ppm에서 3.45ppm, 0.45ppm에서 6.9ppm범위의 적은 양이 용출되었으며, pH7에서는 0.9ppm에서 2.1ppm의 범위로 매우 적은 양이 용출되어 pH4이상에서 Al의 용출량은 미미한 것으로 나타났다.

특히 정수장 슬러지가 혼합된 인공 배양토 pH

2에서도 Al용출이 나타나지 않은 것은 pH 완충특성이 매우 커 처리용액의 pH가 강산성이라 하더라도 시료의 자체 pH감소가 적어 활성화된 Al의 양이 거의 없고, 또한 용출되었다 하더라도 용출 Al과 유기물과의 강한 결합으로 안정한 Al-유기물복합체를 형성하였기 때문으로 추측된다. 이러한 활성 Al 저감효과는 유효인산 고정을 억제하는 것으로 판단된다.

그러나 40% 정수장 슬러지와 60% 토양을 혼합한 시료는 100% 정수장 슬러지의 실험과 유사하게 pH 2에서는 2,405ppm에서 2,640ppm 범위의 많은 양이 용출되었으나, pH 4, 7, 10에서는 거의 용출되지 않았다. pH 2에서 Al 용출량이 많은 것은 정수장 슬러지의 시간별 pH변화에서 pH 2에서는 24시간 이후에도 거의 pH 4 부근으로 변화한 후 거의 변화가 없는 것과 관련하여 정수장 슬러지는 pH 2와 같은 강산성 조건에서 토양과 혼합시는 Al 용출에 의한 식물독성 문제가 야기되나, 정수장슬러지를 유기물과 혼합할 경우에는 pH2 에서도 Al 용출이 거의 없어 환경적인 위험이 없는 것으로 판단된다.

Table 7 Effect of pH on Aluminium Leaching from Alum Sludge

(Unit : mg/L)

Time	pH 2			pH 4			pH 7			pH 10		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
6	2,040	2,405	0	1.8	0	0	0.9	0	0.6	6.9	0.7	0
18	2,010	2,460	0	1.5	0	0.2	0.9	0.4	0.5	0.45	0.9	0.5
24	2,047	2,350	0.3	3.45	0.3	0	2.1	0.6	0.6	3	0	0
42	1,837	2,640	0	3.15	0.6	0.6	1.35	0.6	0.6	3.6	0.6	0.3

A : alum sludge B : 40% alum sludge + 60% Soil

C : Artificial Culture Soil(contained 40% alum sludge)

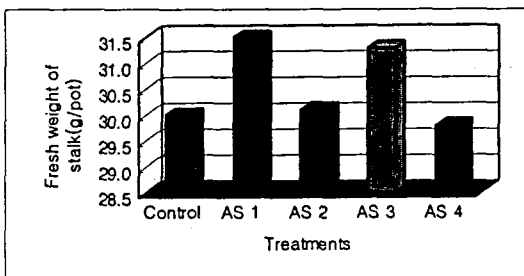
3.3 식물생육효과

인공 배양토는 식물의 배지로서 식물이 왕성한 생육을 할 수 있도록 충분한 영양물질과 양호한 물리성을 가지고 있어야 한다. 특히 앞으로의 범면녹화는 초본식물뿐만이 아니고 관목류의 생육이 가능한 인공 배양토가 필요하다.

정수장 슬러지에 대한 농업적 혹은 원예용 토로의 이용에 관한 연구는 이미 국내외에서 많은 연구가 이루어졌으며, 특히 식물체의 초기 생육과정중 뿌리발달을 현저하게 촉진시키는 것으로 알려져 있다. 인공 배양토를 이용한 녹화산업이 발달한 일본에서는 이러한 정수장 슬러지에 대한 농업적 활용의 타당성과 원예용토 및 녹화자재의 원료로서 그 이용 가능성을 높이기 위하여 많은 연구가 시도되었다(김홍석 등, 1996).

3.3.1 Perennial ryegrass

Fig. 2, 3에 나타낸 바와 같이 Perennial ryegrass의 지상부 생육은 기준시판 인공배양토에 비교하여 정수장 슬러지를 10%, 30% 처리한 처리구가 현저한 생육효과를 나타내고 있다. 특히 AS 1이 가장 큰 생육효과를 나타내고 있다. 반면, 지하부의



Control : Commercial artificial culture soil,
 AS 1 : 10% alum sludge contained,
 AS 2 : 20% alum sludge contained,
 AS 3 : 30% alum sludge contained,
 AS 4 : 40% alum sludge contained

Figure 2. Comparison of fresh weight of stalk of Perennial ryegrass.

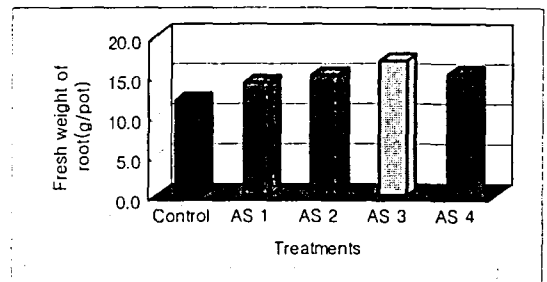
수량에서 AS 1, 2, 4는 대등소이한 결과를 보이고 있으나 대조구 보다는 크게 증가하여 정수장슬러지가 식물의 뿌리생육에 탁월한 효과가 있음이 입증되었다. 특히 정수장슬러지를 30% 혼합한 AS 3처리구에서 지하부의 생육이 크게 증가한 것으로 나타났다.

3.3.2 싸리나무

싸리나무는 뿌리혹 박테리아를 가지고 있어 척박한 토양에서도 공기중의 질소를 고정하여 영양분으로 이용할 수 있으므로 암벽절개지의 인공 배양토 시공에 주로 이용되고 있는 관목류이다. 생육효과는 정수장 슬러지를 30% 혼합한 처리구(AS 3)가 가장 높은 생장율을 나타냈으며, 대조구보다 약 2배의 생육효과가 있었다(Fig. 4).

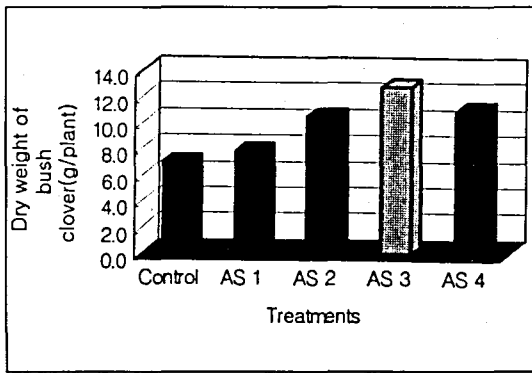
3.4. 보수력 측정

기준에 시공되고 있는 인공 배양토와 정수장 슬러지를 30% 혼합한 AS 3처리구에 대한 보수력 측정결과는 Table 8과 같다.



Control : Commercial artificial culture soil,
 AS 1 : 10% alum sludge contained,
 AS 2 : 20% alum sludge contained,
 AS 3 : 30% alum sludge contained,
 AS 4 : 40% alum sludge contained

Figure 3. Comparison of fresh weight of root of Perennial ryegrass.



Control : Commercial artificial culture soil,
 AS 1 : 10% alum sludge contained,
 AS 2 : 20% alum sludge contained,
 AS 3 : 30% alum sludge contained,
 AS 4 : 40% alum sludge contained

Figure 4. Comparison of dry weight of bush clover.

Table 8. Comparison of Water Holding Capacity Between Commercial Artificial Culture Soil and 30% Alum Sludge Contained Artificial Culture Soil

	Commercial artificial culture soil	AS 3	Remark
Water holding capacity(%)	61.0-67.7	73.6	Lower then 1/3 atmospheric preshure

AS 3 : 30% alum sludge contained

Table 9. Natural Water Content of Soils and Alum Sludge

Classification of soil	Natural water content (%)
Sand	20 - 30
Saturated clay soil	40 - 50
Peat	200
Alum sludge	400 - 600

기존의 제품에 비해서 AS 3시료의 보수력은 최저 5.9%~최고 12.6%정도 높게 평가되었다.

이와 같은 결과는 정수장 슬러지의 물리성과 매우 깊은 관계가 있는 것으로 판단된다.

정수장 슬러지의 자연함수비는 Table 9에 나타난 바와 같이 대체적으로 400~600%의 범위에 있으며, 이는 유기질 함량이 풍부한 토탄의 자연함수비 보다 2~3배 높은 값이다(한국수자원공사, 1993). 그러므로 정수장 슬러지는 보수력이 매우 높으며 지속적인 한발에도 식물의 수분 스트레스를 경감시킬 수 있을 것으로 판단된다.

3.5 점착력

절토암사면에 인공녹화를 하는데 있어서 인공 배양토의 점착력은 매우 중요한 요소이다. 앙카로 고정된 철망에 인공 배양토를 부착하였을 경우 경사면에서 인공 배양토의 자체하중에 의해 탈리되는 경우가 발생하며 이를 방지하기 위해서 벚짚,

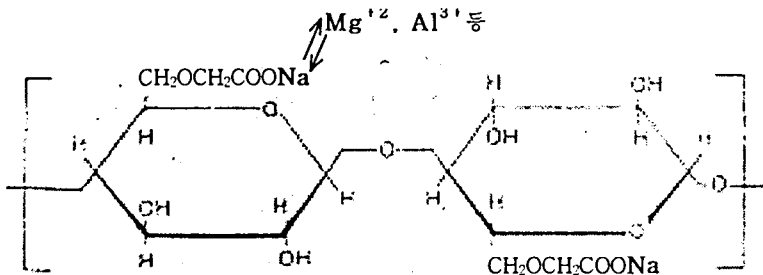


Figure 5. Chemical structure of CMC and substitution reaction with various cations.

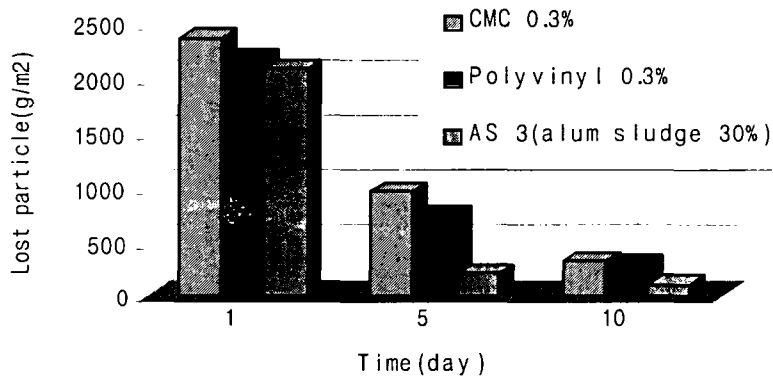


Figure 6. Erosion effect on artificial rain(100mm/hr).

CMC(Sodium Carboxymethyl Cellulose), polyvinyl계 고분자 접착제, 알콜레진, 시멘트 등을 첨가하여 사용하고 있다. 그러나 현재 국내에서는 벗짚을 구입하기도 어려울 뿐만 아니라 부피가 커서 보관, 취급 및 운반이 어려운 단점이 있다.

또한 Fig. 5와 같은 구조를 가진 CMC는 인공 배양토중 다량 함유된 Fe, Al, Ca, Mg 등과 같은 많은 다가 양이온들에 의해 치환된 Na가 분산효과(Dispersion effect)를 나타내어 접착력을 감소시키며, 이러한 접착력은 시간이 경과됨에 따라 현저하게 감소하는 것으로 알려져 있다. 특히 CMC는 분말로 되어있어 물에 완전히 호화시켜서 사용해야 하므로 작업의 효율성이 떨어진다. 기타 다른 접착제들도 식물생리에 영향을 줄 수 있으며, 작업공정이 복잡해지고, 가격상승의 원인이 되고 있다.

Fig. 6에 나타난 바와 같이 접착력을 높이기 위해

서 기존에 사용하고 있는 접착제 혼합 처리구 보다 정수장 슬러지를 혼합한 AS 3 처리구가 인공강우에 의한 유실량이 월등히 적게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이 결과에 의하면 시공후 5~10일이 경과하면 정수장 슬러지의 강한 접착력에 의해서 급경사의 시공현장에서도 토사가 유실되거나 슬라이딩이 일어나는 확률이 기존의 재료보다 적다는 것을 알 수 있다.

즉 정수장 슬러지 함유 인공 배양토의 경우는 기존의 제품에서 접착력 증가를 위해 사용하고 있는 CMC(Sodium Carboxymethyl Cellulose)나 polyvinyl계 고분자물질 등의 접착제를 별도로 사용하지 않아도 시공상 접착력 문제가 나타나지 않음을 의미한다.

이와같은 결과는 정수장 슬러지가 강한 응집력을 가지고 있음을 입증하는 것이며 정수장 슬러지의

Table 10. Liquid Limit and Plastic Limit of Various Soils and Alum Sludge

Classification	Liquid limit(L.L, %)	Plastic limit(P.L, %)
Sandy soil	30 - 50	20 - 40
Silty sand	40 - 70	30 - 50
Silty clay	40 - 120	30 - 70
Alum sludge	457 - 484	177 - 189

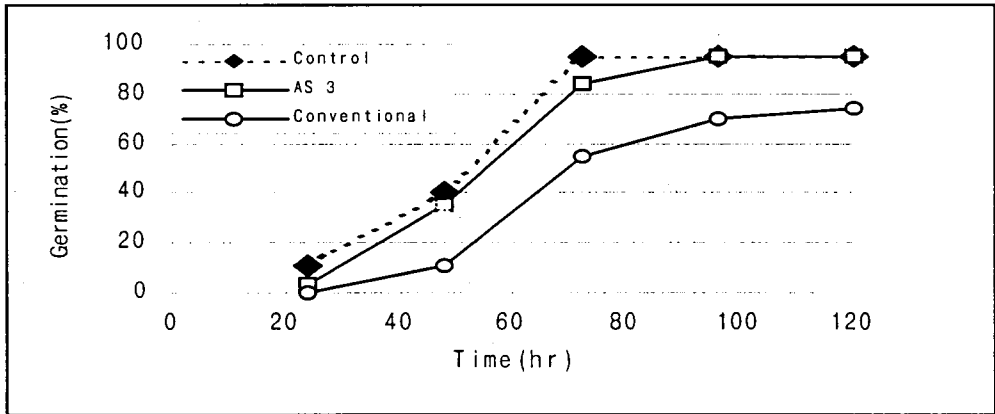


Figure 7. Effect of germination rate during culture period.

물리적인 특성에 기인한다. 정수장 슬러지의 액성한계(WL)는 114.9~484.2%, 함수비가 감소함에 따라 유동성이 줄어드는 소성한계(WP)는 58.3~288.2%로 나타났다. 이러한 값들은 일반 점토질 실트의 액성한계 40~120%, 소성한계 30~70%와 비교하여 매우 높은 값이다(한국수자원공사, 1993).

3.6 식물독성 실험

대부분의 인공 배양토의 주원료는 유기성 폐기물을 이용한다. 이러한 유기물들은 적절한 퇴비화 과정을 통하여 충분한 부숙이 이루어져야만 안정한 식물 영양배지로서의 제 기능을 다하며, 완숙된 인공 배양토를 이용시 신속한 발아, 초기생육의 촉진 그리고 현저한 식생조성 효과를 얻을 수 있다. 이와 관련하여 기존제품과 alum sludge를 혼합한 인공 배양토에 대한 식물독성 실험을 수행한 결과는 Fig. 7과 같다.

Alum sludge를 혼합한 인공 배양토의 발아율은 증류수 처리구인 대조구와 거의 유사한 경향으로 식물발아에 저해가 나타나지 않은 반면 기존에 시판되고 있는 인공배양토(대조구)의 발아율은 120시간 경과후 74%로써 식물의 발아 및 초기 생육에 지장을 초래할 수 있는 것을 알 수 있다. 이는 alum

sludge의 혼합이 식물독성을 나타내지 않으며, 시판용 기존 인공 배양토는 완전한 퇴비화가 진행되지 않아 식물독성이 나타난 것으로 판단된다.

4. 결 론

정수장 슬러지를 주원료로 하여 암벽절개지용 인공 배양토의 제조하는데 있어서 정수장 슬러지의 이용가능성과 식물영양학적, 물리화학적 역할에 대하여 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 40% 정수장 슬러지와 60% 토양을 혼합한 처리구에서는 초기 pH 2에서 2,405~2,640ppm의 많은양의 Al이 용출되었으나 정수장 슬러지를 퇴비와 4:6의 비율로 혼합한 경우 Al이 용출되지 않았다.
2. 식물생육효과 측정에서 Perennial ryegrass의 경우 시판되고 있는 기존 인공 배양토보다 정수장 슬러지를 30% 혼합한 처리구에서 뿌리의 생육에 높은 효과가 있었으며, 싸리나무의 경우에도 약 2배의 생육효과가 인정되었다.
3. 보수력 측정에서 기존의 제품에 비교하여 정수장

슬러지를 30% 혼합한 시료가 최저 5.9%~최고 12.6%의 보수력이 높았다. 이는 정수장 슬러지의 자연함수비가 400~600%로써 일반 토양이나 피트보다도 월등히 높은 물리적 특성에 기인한다고 판단된다.

4. 시존의 제품에 CMC(Sodium Carboxymethyl Cellulose)와 polyvinyl계 점도증가제를 각각 0.3% 혼합한 시료와 정수장 슬러지를 30% 혼합한 시료의 접착효과를 비교한 결과 정수장 슬러지를 혼합한 처리구의 접착력이 우수하였다. 이는 정수장 슬러지가 응집력을 가지고 있기 때문으로 판단된다.
5. 기존의 시판 인공 배양토가 정수장 슬러지를 30% 혼합한 처리구 보다 높은 식물독성이 나타났다. 이는 정수장 슬러지를 30%까지 혼합할 경우 식물독성이 나타나지 않으며, 기존의 인공 배양토는 유기물의 분해가 충분히 이루어지지 않았기 때문에 높은 식물독성이 나타난 것으로 판단된다.
6. 이상의 결과로 볼 때 암벽절개지용 인공 배양토의 재료로써 정수장 슬러지는 매우 긍정적인 역할을 하였으며, 기존에 문제시 되었던 보수력, 접착력개선 및 식물생육촉진에 많은 개선효과를 기대할 수 있다.

참고문헌

김상덕, 장기운, 임재신, 김영한(1997), "사료용 수수(Sorghum bicolor x S. bicolor)생육에 대한 정수슬러지(alum sludge)의 사용효과", 한초지, 17권, 1호, pp. 51-58

김홍석, 박인석(1996), "정수장발생슬러지 활용농업에 효율적으로 이용하기 위하여". 대한토목학

회지, 44권, 8호, pp. 51-60

이기철, 김동필(1992), 최첨단의 녹화기술, 명보문화사

이인복(1997), "Alum 제지슬러지의 퇴비화 방안과 사용시 작물생육 및 토양특성 변화", 박사학위 논문

장기운, 구자공, 임재신, 김영한(1995), "옥수수에 대한 정수장슬러지(alum sludge)의 사용효과와 Aluminum이 옥수수의 유식물 생장에 미치는 영향", 한국유기성폐기물자원화협회 학회지, 3권, 1호, pp. 73-83

장기운, 이인복, 임재신, 김영한, 이상석, 임현택. (1996), "정수장슬러지 사용이 대두 및 당근의 수량과 화학적 특성에 미치는 영향", 한토비지, 29권, 3호 pp. 275-281

한국수자원공사(1993), "정수장슬러지 처분 및 활용방안 연구"

한국수자원공사(1996), "정수장슬러지 재활용추진 방안 연구(1차년도)"

Elliott, H. A., B. A. Dempsey. (1991), "Agronomic effects of land application of water treatment sludge". J. AWWA, 83: 126-131.

Grabarek, R. J., E. C. Krug. (1987), "Silvicultural application of alum sludge". J. AWWA, June 1987:84-88.

Heil, D. M., K. A. Barbarick. (1989), "Water treatment sludge influence on the growth of Sorghum-Sudangrass". J. Environ. Qual., 18:292-298.

Howeler, R. H., L. F. Cadavid. (1976), "Screening of rice cultivars for tolerance to Al-toxicity in nutrient solutions as compared with a field screening method". Agron. J., 68:551-555.

Naylor, L., J. A. Johnson, M. K. Ballerstein.

(1987), "Water treatment plant sludge: Effects on soil pH and extractable nutrients". p. 18. in unpublished paper.

鬼頭 誠, 吉田重方. (1992), 綠農地から排出する各種植物性廢棄物を主材料とした培養土の諸性質と植物生育に對する影響. 日本土壤肥料學雜誌. 63:

511-516.

鬼頭 誠, 吉田重方. (1993), 數種の植物性廢棄物を主材料とした培養土の製造過程における物質變動と各培養土に栽培した植物の生育. 日本土壤肥料學雜誌. 64:1-8.