

쇄석사 폐미분의 농지 지력개선 재료활용 연구

강선덕¹, 정덕영², 이동남¹

¹한국자원연구소 자원연구부(sdakang@kigam.re.kr), ²충남대학교 농과대학

1. 서론

국내 골재 생성과정에서 10 m/m 이하의 석분이 약 연간 1,729만m³가 발생하여 폐기물화 되던 것을 이 석분을 이용하여 인공모래(-5 mm ~ +0.074 mm)를 연간 약 693만m³가 생산되고 있다. 그러나 이 인공모래 제조과정에서 -200 mesh(74 μ m)의 미분이 약 15%(131만m³)가 발생되어, 산업 폐기물로서 폐기됨으로 공해를 유발하고 있다. 이것(-200 mesh(74 μ m))을 이용하여 토벌모나이트(Tobermonite) 광물을 합성, 저질규사로 경량기포콘크리트(A.L.C : Autoclave Lightweight Concrete)를 제조하여 보온, 단열, 방음용 건축재료로 유용자원화 및 공해방지에 관한 연구를 한 바 있다. 그러나 발생량에 비해 처리량이 다소 미흡하여, 본 연구에서는 미분시료의 기초적 특성을 조사하고 폐미분 자체의 물리성 개선을 위해 우분유기물 추출물과 증점제를 이용 입단체조를 시도하여 토양개선제 및 농업적인 활용 가능성 검정 기초시험 연구를 통해 폐자원의 유용 자원화와 공해 유발을 방지코저 하는 기술개발 연구이다.

2. 연구 및 실험방법

[연구 방법] :

(1) 시료

시료는 폐미분과 이에 상대하는 토양으로서 충남 예산지역의 시설재배지에서 다년간 채소를 재배한 밭토양의 Ap층¹⁾을 선택하여 이용하였다. 표.1,2,3에서는 각 시료의 특성을 나타내주고 있다. 1)작토층(경운층)

Table 1. 각 시료에 대한 명칭 및 특성

시료명	습식미분 (Cake (D.H))	건식미분(O.S(-200mesh))	건식미분(B.K(-200mesh))
특징	Wet상태	분말	분말

Table 2. Chemical compositions of fine sludge(-200mesh) of crushed sand

component	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	IgLss	TiO ₂	P ₂ O ₅	S	K ₂ O	Na ₂ O	MnO
O.S content(wt%)	58.04	14.99	2.28	1.63	6.83	1.99	8.58	0.54	0.26	tr	3.11	1.62	0.08
D.H content(wt%)	60.08	17.49	3.82	1.36	2.70	2.17	4.50	0.52	0.70	0.06	3.20	3.14	0.16

Table 3. 폐미분 슬러지 토양환경 보전법에 의한 분석표

구분 성분(mg/kg)	O.S 건식미분	D.H 습식미분	농경우려 기준치	비고
Cu	0.1	2.7	50	o 당연구소에서 분석 각성분의 값은 농경지지 우려기준치 이하를 나타냄 - 양사 폐미분 경작을 위해 토양에 혼합할 경우 환경보전법에 위촉 되지않음을 보여주고 있음
Pb	0.9	4.7	100	
Zn	0.1	11.3	-	
Cd	0.0	0.3	1.5	
Cr	0.2	2.1	4.0	
Ni	1.1	1.6	-	
As	0.1	0.1	6.0	
Hg	0.0	0.0	4.0	
pH	7.7	7.6	-	
유기물(%)	0.66	1.44	-	

0 시료(슬러지) XRD 분석

양사의 폐미분 슬러지를 X선 회절분석을 한 결과 그림. 1과 같다. O.S는 수성암(사암 및 실트암)으로 석영을 주로 하여 장석, 칼사이트, 운모를 수반하고 있으며, D.H 는 화성암류(유문암)로 주로 석영, 사장석, 칼사이트 및 혼브랜드를 수반광물로 하고 있다

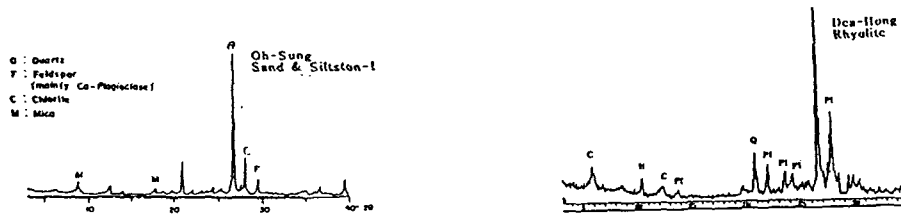


그림 1. O.S와 D.H시료 X선 회절분석

0 시료(슬러지) SEM 분석

전자현미경(SEM)으로 O.S의 슬러지 500배와 5000배로 하였다(사진.1, 2).

사진.1에서 입자상으로 분포됨을 볼 수 있으며, 사진.2에서는 1개의 입자를 5000배로 확대한 것으로 입형이 타원상을 보이나 소암편이 격자식으로 일어나고 있다.

- 사용기계명 : JEOL(일제) Scanning Microscope, Model No. : Jsm-6400
- 조 전 : 시료는 gold로 이온 코팅, 20Kv로 촬영, 진공도 : 10^{-7} Torr

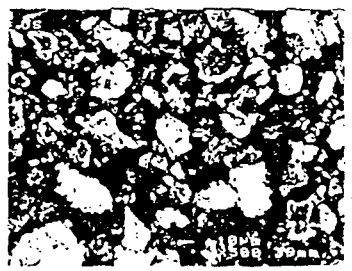


사진 1. Photomicrographs of fine sludge *500(o.s)



사진 2. Photomicrographs of fine sludge *5000(o.s)

(2) 입단체조

시료의 입단체조는 시료의 토양 처리시 야기되는 수리전도도(Hydraulic conductivity) 값의 저하를 방지하기 위한 방안으로 시료 자체의 응집력이 낮은관계로 인하여 표4에서 나타나는 것과 같이 일정량의 유기물²⁾과 증점제³⁾를 이용하여 입단을 제조하였다(사진3).

2)유분수용성수출물, 3)Carboxy Methyl cellulose

	표.4 입단체조시 혼합비율 (W/W%)		
	시 료(%)	유 기 물(%)	증점제(%)
BK - 0	99.6	0	0.4
Bk - 15	84.6	15	0.4
BK - 30	69.6	30	0.4
OS - 0	99.6	0	0.4
OS - 15	84.6	15	0.4
OS - 30	69.6	30	0.4

(3) 기초특성 조사

각시료에 대한 기초 조사는 토양의 물리·화학적 특성으로 나누어 조사하였다. 토양의 기초적 특성은 농업기술연구소(1988)의 토양화학분석법에 준하여 실험을 실시 하였으며, 이때 토성(Soil texture) 분석은 Sodium hexametaphosphate 용액으로 분산 후 Hydrometer를 이용하여 측정하였다. 전기전도도(EC) 및 pH 분석은 물에 의한 1 : 5 용출법, 양이온 치환용량(CEC)은 1N Ammonium acetate 치환법으로 측정하였으며 포화수리전도도는 일정수두법(Constant head method, 사진.4)으로 측정하였다.

[실험 방법] :

(1) 발아 및 생육 조사

1) 발아 실험

① 처리내용 : 시료 1g에 증류수 25ml를 가한후 60℃에서 3시간동안 환류 냉각하에서 추출 후 여액 6ml를 여과지가 깔린 9cm Petri dish에 가한후 발아율과 뿌리생장율을 조사하였다. 이때 실험은 각각 3반복으로 실시하였으며, 1 처리구 당 20개의 종자를 이용하였다.

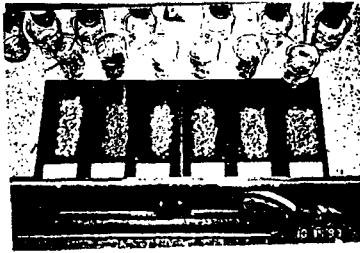


사진.3 페미분의 입단



사진.4 포화수리전도도 측정 방법

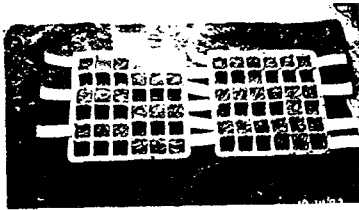


사진.5 생육실험 (파종실험)



사진.6 생육실험 (파종1주일후)

② 공시품종 : 내염성이 높은 배추(Chinese cabbage)와 내염성이 낮은 상추(Lettuce) 를 이용하였다.

③ 조사방법 : 3일째 발아율⁴⁾과 5일째 뿌리 성장률⁵⁾을 대조구⁶⁾에 대한 비율로 조사하였으며, 발아율과 뿌리성장률의 곱으로 Germination Index(GI; 발아지수)⁷⁾를 계산하였다.

4) 대조구의 발아율에 대한 상대적 %

5) 대조구의 뿌리 성장률에 대한 상대적 %

6) 무처리 : 증류수 배지

7) GI(발아지수) : 발아지수는 100을 기준으로하여 이하는 발아저조, 이상은 발아율의 상대적 우위를 나타내는 지수이다. 따라서 상대값이 높으면 높을수록 좋다.

$$GI = \frac{\text{시험구(발아수} \times \text{뿌리 평균길이)}}{\text{대조구(발아수} \times \text{뿌리 평균길이)}} \times 100$$

2) 생육 실험

① 처리내용 : 입단화된 시료를 표.3와 같은 혼합비율로 처리하여 40x40x40 mm Pot에 충전하고 공시 품종을 파종 한 다음, Growth chamber에서 생육실험을 진행하였다 . 이때 Growth chamber 의 온도는 23℃, 수분 65%, 광 1,200 Lux의 조건을 유지하였으며 Pot의 표면이 건조하지 않도록 수분을 공급하였다.

② 공시품종 : 생육시험은 내염성이 높은 배추를 이용하였다

③ 조사방법 : 파종 후 3주 동안의 성장률을 조사하여 뿌리성장률, 줄기성장률, 잎장과 잎폭의 길이 성장률을 조사하였다. 이 때 각 처리구는 3반복을 하였으며 대조구로서는 시설재배지의 Ap 층을 이용하였다.

표.5 입단과 토양과의 배합비율

시료	구분	토양(%)	시료(%)
BK- 0-20, OS- 0-20		80	20
BK-15-20, OS-15-20			
BK-30-20, OS-30-20			
BK- 0-40, OS- 0-40		60	40
BK-15-40, OS-15-40			
BK-30-40, OS-30-40			

3. 결과 및 고찰

(1) 시료의 물리적·화학적 특성

페미분의 농업적 이용 가능성을 검토하기 위하여 물리성과 화학성을 조사한 결과는 표. 6,7과 같다. 일반적으로 농경지에 있어서 작물의 수량 증대에 양호한 토양은 점토와 미사의 함량이 70-80% 이상으로 알려져 있다. 이는 점토와 미사의 함량이 많을수록 토양의 유효양분 치환능력이 좋고 수분 보유력이 증대되기 때문이다. 그러나 점토의 함량이 40% 이상일 경우 수리전도도

값이 떨어져 배수가 불량하게 되므로 점토와 미사, 그리고 모래의 함량이 적당해야 한다. 본 시료는 OS와 BK 모두 모래의 함량이 35% 이상이며, 상대적으로 점토의 함량이 낮다. 따라서 유효양분에 대한 치환능력이 떨어질 것으로 예상되며, 수분보유능이 적을 것으로 판단되었다. 또한 모래의 함량이 높아 수리전도도값이 높을 것으로 예상하였으나 실제 수리전도도값은 A층 토양보다 3-5배 정도 낮게 나타났다. 이는 일반토양의 경우 입단화에 의해 공극이 발달한 반면 폐미분의 경우에는 입단화가 거의 형성되지 않아 구조내에 존재한 공극이 작기 때문에 토양수의 흐름이 원활하지 못한 것으로 판단되었다. 따라서 폐미분의 농업적 이용가능성을 검토하기 위해서는 우선적으로 입단형성이 이루어져야 할 것으로 기대되었다.

표. 6 시료의 토성과 용적 비중에 따른 포화수리전도도

시료	Particle Distribution(%)			수리전도도(cm/day)			
	Clay	Silt	Sand	1.2g/cm ³ *	1.3g/cm ³	1.4g/cm ³	1.5g/cm ³
OS	15	43	42	0.30	0.11	0.04	0.03
BK	17	48	35	0.30	0.12	0.04	0.03
A	20	55	25	1.15	0.82	0.36	0.18

* 용적비중

폐미분에 대한 화학성을 조사한 결과 표.7과 같았다. 시료의 화학적 특성을 보면, pH가 높은 약알칼리성을 나타내며, 낮은 양이온 치환용량과 다른 무기이온에 비해 Ca의 함량이 높음을 볼 수 있다. 대부분의 시설재배지 토양은 본 실험에 사용된 A층 토양과 마찬가지로 pH는 비교적 낮으며, EC가 높고 K, Na 등의 무기 이온의 농도가 높은 것으로 나타나 있다. K와 Na 경우 1 cmol/kg 이하의 낮은 농도에서도 작물의 생육에 장애를 가져오기 때문에 이들 이온의 적절한 관리가 필요하다. 따라서 폐미분을 농경지에 이용할 경우 토양내 pH의 조절과 무기이온의 시비 관리에 있어 이점이 있을 것으로 판단된다. 그러나, 낮은 양이온 치환용량과 낮은 유기물의 함량을 조절하는 것이 선행되어야 할 것이다.

표. 7 시료의 화학성

	pH (1 : 5)	EC (ds/m)	C.E.C (cmol/kg)	Ex.Cation(cmol/kg)			
				K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
BK	8.8	2.3	6	0.24	0.3	39.0	1.58
OS	8.5	2.2	5.7	0.20	0.21	26.0	1.35
A층	6.7	5.08	12.3	1.07	0.95	7.7	3.3

(2) 발아 및 생육특성

1) 발아율 조사

미분스러지에 대한 작물의 발아율을 조사하기 위해 내염성이 높은 배추와 내염성이 낮은 상추를 대상으로한 발아시험의 결과는 표.6과 같다. 발아율에 있어서는 배추에 비해 내염성이 적은 상추가 약간 저조하였으나 무처리구와 비교해 큰 차이를 볼수가 없었다. 이는 폐미분에 존재하는 다량의 수용성 무기 영양분에 의한 것으로 해석되었으며, 시료내에 작물의 발아에 악 영향을 미치는 독성물질이 존재하지 않는 것으로 판단되었다.

표. 8 시료 추출물의 발아특성 조사

구 분		B.K	O.S	Cake
배추	발아율(GR)	101.2	98.2	101.1
	뿌리성장율(RE)	124.0	172.1	160.0
	Geermination Index	126.1	169.0	161.9
상추	발아율(GR)	91.1	94.0	93.6
	뿌리성장율(RE)	132.4	127.3	130.1
	Geermination Index	120.6	119.7	121.8

* 발아특성은 대조구인 증류수에서의 발아율에 대해 상대적인 %로 나타남

2) 생육실험

미분스리지의 낮은 수분 보유력과 낮은 양이온 치환용량을 보완하기 위해 유기물과 증점제를 이용하여 입단화 시킨후 표7과 그림.1과 같다.

BK의 생육실험결과는 대조구(A)에 비해 높게 나타났으며 특히 유기물이 30%, 토양이 20% 혼합된 B-30-20시료에서 뿌리의 생육이 가장 좋았으며 토양의 혼합이 40%이상에서부터는 감소됨을 보였다. 또한 OS 시료의 경우 대조구(A)에 비해 100%이상의 높은 생육을 보였으며 BK의 시료와 마찬가지로 토양이 40%이상일 경우에는 감소됨을 보였다. 이러한 결과로서 우리는 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 첫째, 폐미분에 의한 pH상승으로 인해 작물의 생육이 증대되었고
- 둘째, 입단화된 폐미분에 의한 수분보유력이 증대되어 작물에 수분공급이 원활히 이루어졌으며
- 셋째, 폐미분에 존재하는 무기이온에 의한 양분 공급효과와 토양내 과량 존재하는 일부 무기이온의 희석 효과 등을 기대할 수 있었다.

표. 9 혼합토양에 있어서 배추의 생육 특성 (단위 : cm)

시료	뿌리	잎장	잎폭	줄기	비고	
대조구(A층)	1.9	1.8	1.1	1.5		
OS	0-20	4	1.6	1.5	2.8	뿌리생육이 좋음
	0-40	4.3	2	1.5	2.6	
	15-20	3	1.7	1.5	2.7	
	15-40	4.5	1.8	1.5	2.5	
	30-20	4.5	2.7	1.6	2.5	
	30-40	3.6	2.8	1.6	3.1	
BK	0-20	2.6	2.2	1.3	1.8	뿌리생육이 좋음
	0-40	3.15	2	1.2	1.2	
	15-20	3	2.8	1.6	2.2	
	15-40	3.65	2.8	1.7	2.2	
	30-20	4.25	2.1	1.5	2.4	
	30-40	4.15	1.6	1.3	2	

4. 결 론

- (1) 시료의 농업적 이용가능성을 평가하기 위해 물리, 화학적 특성을 조사한 결과, 점토와 미사의 함량에 비해 모래의 함량이 높았으며, 상대적으로 낮은 수리전도도 값을 갖고 있었다. 또한 양이온 치환용량 (CEC)이 낮은 것으로 나타났다. 그러나 다량의 Ca를 함유하고 있으며, pH가 약알칼리성으로 농경지에 이용할 경우 토양 산성 개량제로서의 효과가 기대되었다.
- (2) 폐미분의 불량한 물리성과 양이온 치환 용량을 개선하기 위해 유기물과 증점제를 이용하여 입단화한 결과 수분보유능이 증대되고, 공극의 발달로 인해 양호한 수리전도도 값을 보여 작물의 생육에 효과가 있는 것으로 나타났다.
- (3) 발아율 조사에 따르면 폐미분을 사용한 실험구에서 미분을 사용하지 않은 무처리구보다 발아율이 상대적으로 높았다. 따라서, 이로부터 폐미분이 발아율을 높이는 효과를 가져왔다는 것을 알 수 있었다.
- (4) 생육실험 결과에서도 대조구보다 폐미분을 이용한 처리구에서 뿌리, 잎장, 잎폭, 줄기등 모든 면에서 생육상승효과를 보이고 있어 폐미분이 작물 생육에 상당한 효과를 지니고 있는 것으로 판단된다.
- (5) 문제점은 폐미분의 입단화시 입단작용이 상대적으로 점토 성질의 토양보다 낮기 때문에 이에 대한 처리방법이 강구되어야 한다.
- (6) 따라서 국내 인공모래 제조 과정에서 발생하는 폐미분(131만m³/년)을 농지 지력개선 재료로 활용 함으로써 인공모래 제조원가 절감에 기여하고, 공해로 발생 되는 환경문제 해결에 큰 도움이 될 것으로 사료된다.