

# 석고, 팽화왕겨 및 제오라이트 연속시용이 간척지 세사양토의 입단화에 미치는 영향

백승화 · 김재영<sup>1</sup> · 이상욱<sup>1</sup> · 김성조<sup>1\*</sup>

충북도립대학 바이오식품생명과학과, <sup>1</sup>원광대학교 식품환경학과

## Influence of Continious Application of Gypsum, Popped Rice Hull, and Zeolite on Soil Aggregation of Reclaimed Sandy Loam Soils

Seung-Hwa Baek, Jae-Young Kim<sup>1</sup>, Sang-Uk Lee<sup>1</sup>, and Seong-Jo Kim<sup>1\*</sup>

Department of Biofood Science and Biotechnology, Chungbuk Provincial University of Science & Technology, Okcheon 373-806, Republic of Korea

<sup>1</sup>Department of Food Environmental and Science, College of Life Science and Natural Resources, Wonkwang University, Iksan 570-749, Republic of Korea

We investigated influence of continious application of gypsum (G:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), popped rice hulls (H) and zeolite (Z) on soil aggregation of reclaimed sandy loam soils. The application rates amended to fine sandy loam from reclaimed soils at Kyehwado were varied as follows: 1550 (G1), 3100 (G2), 6200 (G3), 1000 (H1), 2000 (H2), 3000 (H3), and 200 (HZ1), 400 (HZ2) and 800 (HZ3) added to 1500(H)  $\text{kg } 10\text{a}^{-1}$ , respectively. Soil aggregates were analyzed for 60, 90 and 120 days after treatments (DAT). At 60 DAT, The amount of aggregate from soil samples treated with gypsum was slightly increased with G1 while the aggregation was decreased by 4.66% for G3 for soil aggregates than thar of control. The treatments of H or HZ were effective in soil aggregation. The effect of treatment was in the order of  $\text{H} > \text{HZ} > \text{G}$ . At 90 DAT, increasing amount of gypsum attributed to decrease in soil aggregates. Therefore, we could conclude that suitable amounts of gypsum for soil aggregation in fine sandy loam might be 1550  $\text{kg } 10\text{a}^{-1}$  or less. H1 increased aggregation by 7% for aggregate size between 1.0 and 2.0 mm. HZ1 was most effective in aggregation by 52.78% among the treatments while H2 and HZ3 51.50% and 48.51% at 120 DAT, respectively. As a result, we found that the effect of the treatment for soil amendments was in order of  $\text{H} > \text{HZ} > \text{G}$ .

**Key words:** Aggregates, Fine sandy loam, Gypsum, Popped rice hulls, Soil Aggregation, Zeolite

## 서 언

최근 우리나라는 산업구조의 변화와 더불어 그 동안 수년에서 수십 년간 영농이 행해져온 숙전·답의 일부가 산업단지, 도로 및 항만, 주거용 단지로 변화되고 있는바, 이러한 과정에 의해 감소되는 농경지의 일부를 대신할 수 있는 것은 간척지 조성에 의한 농지확보이다. 그러나 간척지 토양의 대부분은 세립질 또는 조립세립질의 토성을 지님으로써 영농에 불리한 조건이다. 신개발 간척 토양의 물리적 특징은 지하수위가 높아 배수가 불량하고, 날씨가 건조하여 간척지가 마르는 과정에서

심토 층에 존재하는 염분이 표토 층으로 상승하여 재염화가 이루어지면 공극을 메워 통기성이 나빠지고의 내염성이 약한 농작물의 경우 생육이 부실하여 수량이 감소하는 문제가 발생된다. 이러한 문제를 해결하는 효과적인 방법으로 염분을 제거하거나 불용화 시킬 수 있는 방법과 토양의 입단구조를 개량하는 방법은 농산물 생산성 향상에 매우 중요하다. 특히, 신간척지에 토양 구조 발달이 미미한 세립질 토양의 경우는 수직배수가 불량하여 농작업에 어려움을 겪을 수 있다 (Ahn et al., 2002).

따라서 본 연구에서는 계화도 신간척지에 널리 분포하는 세사양토의 물리성 개선효과 구명을 위하여 석고, 팽화왕겨 및 제오라이트를 각각 2년간 연속 시용할 경우 입단형성에 미치는 효과를 분석코자 수행하였다.

접수 : 2010. 10. 22 수리 : 2010. 10. 25

\*연락처 : Phone: +82638506676

E-mail: sjkim@wku.ac.kr

### 재료 및 방법

**공시토양 및 토양개량제 처리** 공시토양은 Kim et al. (2005)이 1년간 수행한 토양을 연속사용 하였으며 개량제 특성과 처리방법은 Kim et al. (2005)의 것과 동일하다 (Table 1). 시험구처리는 와그너 포트 (Φ 18 cm, height 30.1 cm, 1/3000a)에 이수석고 1,550 (G1), 3,100 (G2), 6,200 (G3) kg 10a<sup>-1</sup>, 팽화왕겨 1,000 (H1), 2,000

(H2), 3,000 (H3) kg 10a<sup>-1</sup>, 팽화왕겨 1,500에 Zeolite 를 200 (HZ1), 400 (HZ2), 800 (HZ3) kg 10a<sup>-1</sup> 해당량을 각각 조합처리 하였다. 작물은 버뮤다글래스 (*Cynodon dactylon*)를 2005년 4월 22일 파종하여 재배하였다.

시험 전 토양의 입단 및 화학적 특성은 Table 2 및 Table 3에 각각 나타낸 것과 같으며, 토양의 입자의 직경은 0.1 mm 이상이 2.9%, 0.1 mm 이하가 97.1%인 세립질이었다.

**Table 1. Properties of popped rice hull, gypsum, and zeolite.**

Amendment	CEC	T-C	T-N	C/N	T-P	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>
	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	----- % -----									
Gypsum	-	-	0.03	-	1.9	-	0.20	51.4	0.08	0.38	1.6
Popped rice hull	-	41.4	1.17	35.4	-	0.62	0.65	0.17	0.20	0.11	-
Zeolite	262.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Table 2. Distribution of aggregate size in soils before experiment.**

Treatments*	size of aggregates (mm)					Total aggregates (mm)
	>2.0	2.0-1.0	1.0-0.5	0.5-0.25	0.25-0.1	>0.1
	----- % -----					
Control	2.857	4.759	4.675	5.072	12.024	29.387
G1	1.999	2.634	2.800	3.511	8.775	19.719
G2	2.530	3.908	3.725	3.658	8.046	21.866
G3	1.244	2.341	2.680	1.101	3.346	10.712
H1	2.826	5.537	7.070	7.506	3.983	26.920
H2	2.967	5.078	6.261	4.802	11.455	30.564
H3	2.962	6.735	6.379	5.199	10.635	31.910
HZ1	4.381	7.450	8.767	11.616	16.000	48.215
HZ2	1.646	8.669	8.158	9.897	13.660	42.029
	9.162	7.446	9.530	5.674	13.457	45.269

\*G: gypsum, H: popped rice hulls, Z: zeolite.

**Table 3. Characteristics of soils used in the experiment.**

Treatments*	pH	EC	OM	CEC	Exchangeable cation			
					K	Ca	Mg	Na
	1:5	ds m <sup>-1</sup>	%	-----	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----			
Control	6.18	0.74	1.15	8.13	3.125	3.917	3.037	1.896
G1	5.15	11.42	0.69	8.75	2.322	29.940	1.366	0.548
G2	5.34	11.35	1.03	8.44	2.274	74.067	1.119	0.430
G3	5.40	11.52	1.31	8.44	2.248	75.878	1.210	0.687
H1	5.85	1.17	1.61	9.09	3.176	5.639	3.374	1.830
H2	6.16	0.53	1.95	6.74	3.010	4.446	2.774	1.787
H3	6.10	0.26	1.62	7.38	3.478	4.681	3.572	1.230
HZ1	6.04	2.53	1.86	6.74	3.095	5.259	3.407	3.643
HZ2	6.21	0.18	2.24	7.30	3.325	5.359	3.210	1.417
HZ3	6.31	0.30	1.23	6.74	2.977	4.042	2.543	1.870

\*G: gypsum, H: popped rice hulls, Z: zeolite.

**입단분석** 토양의 입단화 과정을 조사하기 위하여 60 DAT (6월 21일, DAT : day after treatment), 90 DAT (7월 21일), 120 DAT (8월 20일)에 코어 (53 mm)에 토양을 채취 후 음건하여 분석에 이용하였다. 입단분석은 습식사별법 (Wet-sieving method; Model DIK-2000, Daiki Rika Kogyo Co. Ltd., Tokyo, Japan)을 따랐다. 항온 20°C 사각 수조내에서 실시하였으며, Yoder-type의 입단분석용 체 4개종 (2.00, 1.00, 0.50, 0.25 mm)을 이용하였다. 먼저 토양시료 50 g을 골고루 퍼 넣어 기포가 생기지 않도록 주의하여 하강시켜 물에 잠기도록 하였으며, 10분 동안 토양에 물이 스며들게 한 후 30분간 분당 20회 상하운동을 시켰다. 사분된 토양입자를 105°C의 dry oven에서 24시간 건조한 후 2.00, 1.00, 0.50, 0.25 mm 체에 들어있는 토양입자의 무게를 각각 칭량하여 백분율로 환산하였다.

**토양 화학성 분석** 토양 시료의 화학성분석은 농촌진흥청 토양화학분석법 (NAIST, 2000)에 준하여 pH는 토양포화 추출액 (1:5) 법으로 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, 유효규산은 1 N sodium acetate (pH 4.5) 침출법, 치환성양이온은 1 N ammonium acetate (pH 7.0)로 침출하여 AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer, Spectra AA-220FS, Varian Co. Ltd, Australia)로 분석하였고, CEC는 1 N ammonium acetate (pH 7.0) 용액으로 치환성  $\text{NH}_4^+$ 를 포화시켜 Ethyl alcohol로 과잉의  $\text{NH}_4^+$ 를 세척 후 증류하여 정량하였다.

## 결과 및 고찰

**처리 60, 90, 120일 후 토양 입단화에 미친 토양개량제의 영향** 간척지의 세사양토 토양에서 Bermuda grass 재배시 토양 개량제의 사용이 토양 입단화도에 미치는 효과를 보기 위하여 이수석고 1550 (G1), 3100 (G2), 6200 (G3)  $\text{kg } 10\text{a}^{-1}$ , 팽화왕겨 1000 (H1), 2000 (H2), 3000 (H3)  $\text{kg } 10\text{a}^{-1}$ , 팽화왕겨 1500에 Zeolite를 200 (HZ1), 400 (HZ2), 800 (HZ3)  $\text{kg } 10\text{a}^{-1}$ 을 각각 조합 처리 하는 등 3종의 토양개량제를 처리하고 60, 90, 120 DAT (처리 후 경과 일수)에서 입단크기별 입단생성 정도를 조사 분석한 결과는 Table 4, 5 및 6과 같다.

60 DAT 개화도 세사양토에서 이수석고 단일 사용량 처리 효과는  $G1 > G2 > G3$  순으로 이수석고 사용량 증가가 오히려 세사양토의 입단화율을 감소시키고 있었으며 2.0-1.0 mm 입단의 경우 G3에서 무처리구 보다 4.66% 감소되고 있어 간척지 세사양토에서의 입단형성을 위한 이수석고 사용수준은  $1550 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$  이하인 것을 알 수 있었다.

팽화왕겨는 토양의 입단화 증가에 기여한 효과가 뚜렷하였다. 특히, 무처리구에 비해 1000  $\text{kg } 10\text{a}^{-1}$  처리의 경우 입경 2.0 mm 이상의 입단에서 1.73배, 입경 2.0-1.0 mm 입단은 1.94배의 입단 증가를 나타내어 팽화왕겨의 경우 여러 연구의 보고에서 유기함량이 많을수록 소형입단보다 대형입단 형성량이 증가한다는 결과와 같

**Table 4. Size distributions of soil aggregates in fine sandy loam for treatments of gypsum, popped rice hulls, and popped rice hulls amended with zeolite at 60 DAT.**

Treatments *	Distribution according to size of aggregates at 60 DAT (mm)					Total aggregates (mm)
	>2.0**	2.0-1.0	1.0-0.5	0.5-0.25	0.25-0.1	
	----- % -----					
Control	3.557 ± 0.720 <sup>de</sup>	5.173 ± 0.319 <sup>de</sup>	6.284 ± 0.119 <sup>b</sup>	5.048 ± 0.520 <sup>b</sup>	11.016 ± 0.592 <sup>c</sup>	31.079 ± 0.245 <sup>de</sup>
G1	3.987 ± 0.398 <sup>cde</sup>	7.173 ± 3.189 <sup>abcd</sup>	4.440 ± 0.052 <sup>c</sup>	9.172 ± 4.868 <sup>a</sup>	9.949 ± 0.498 <sup>d</sup>	34.720 ± 4.307 <sup>cd</sup>
G2	3.811 ± 0.514 <sup>de</sup>	5.320 ± 0.313 <sup>de</sup>	4.372 ± 0.166 <sup>c</sup>	4.268 ± 0.002 <sup>b</sup>	9.448 ± 0.132 <sup>de</sup>	27.219 ± 1.119 <sup>e</sup>
G3	2.685 ± 0.395 <sup>e</sup>	2.486 ± 0.062 <sup>e</sup>	3.143 ± 0.061 <sup>d</sup>	4.080 ± 0.139 <sup>b</sup>	9.145 ± 0.474 <sup>e</sup>	21.539 ± 0.152 <sup>f</sup>
H1	6.138 ± 0.587 <sup>b</sup>	10.037 ± 2.888 <sup>a</sup>	7.029 ± 0.118 <sup>ab</sup>	6.320 ± 0.555 <sup>ab</sup>	12.212 ± 0.077 <sup>b</sup>	41.735 ± 2.475 <sup>ab</sup>
H2	9.823 ± 2.238 <sup>a</sup>	9.431 ± 0.720 <sup>ab</sup>	7.077 ± 0.396 <sup>ab</sup>	5.279 ± 0.313 <sup>b</sup>	11.048 ± 0.730 <sup>c</sup>	42.659 ± 3.675 <sup>a</sup>
H3	5.884 ± 0.853 <sup>bc</sup>	5.969 ± 0.272 <sup>cd</sup>	6.931 ± 0.231 <sup>b</sup>	7.172 ± 0.616 <sup>ab</sup>	12.255 ± 0.155 <sup>b</sup>	38.211 ± 0.733 <sup>bc</sup>
HZ1	6.208 ± 1.827 <sup>b</sup>	6.785 ± 1.286 <sup>bcd</sup>	7.366 ± 1.787 <sup>ab</sup>	6.855 ± 0.904 <sup>ab</sup>	13.523 ± 0.195 <sup>a</sup>	40.736 ± 3.276 <sup>ab</sup>
HZ2	5.203 ± 0.305 <sup>bcd</sup>	7.349 ± 1.882 <sup>abcd</sup>	6.355 ± 0.670 <sup>b</sup>	6.809 ± 0.599 <sup>ab</sup>	12.998 ± 0.397 <sup>a</sup>	38.725 ± 1.296 <sup>abc</sup>
HZ3	4.612 ± 0.281 <sup>bcd</sup>	8.636 ± 1.383 <sup>abc</sup>	8.167 ± 0.281 <sup>a</sup>	8.479 ± 0.557 <sup>a</sup>	12.019 ± 0.084 <sup>b</sup>	41.914 ± 1.324 <sup>ab</sup>

\*G: gypsum, H: popped rice hulls, Z: zeolite.

\*\*Means with the same lettered superscripts of column's are not significantly different at 5% level by Duncan's multiple range test.

이 팽화왕겨 역시 일반적인 유기물과 같이 입단형성에 기여도가 높음을 알 수 있었다 (Jastrow et al., 1996; Puget et al., 1995; Elliot et al., 1986; Beare et al., 1994). 그러나 팽화왕겨의 처리 수준 증가 효과가 60 DAT에서는 잘 나타나지 않았다. 따라서 60 DAT에서 입단량 증가를 위한 팽화왕겨 처리수준은 1000 kg 10a<sup>-1</sup> 이하였다. 60 DAT에서 팽화왕겨 일정량 (1500 kg 10a<sup>-1</sup>)에 대한 zeolite 처리량을 증가한 조합처리는 zeolite 800 kg 10a<sup>-1</sup> (HZ3)에서 입경 0.25-0.1 mm의 입단이 무처리구의 1.09배인 경우를 제외하고 그 외의 입단크기들에서는 1.30-1.68배로 zeolite 처리 함량 증가는 입단형성 작용을 증가시키고 있음을 알 수 있었다 (Table 4).

60 DAT의 입단화는 2 년차의 이수석고 처리수준이 증가함에 따라 감소되는 경향을 보였고, 상대적인 입단형성량은 1년차의 경우보다 G1과 G2의 2 mm 이상의 입단량이 감소되었으나, G3는 증가하여 1년차의 결과와 차이가 있었다 (Kim et al., 2005).

팽화왕겨를 처리한 1년차 입단화는 KH1과 KH2는 무처리구에 비하여 2.0 mm 이상 및 2.0-1.0 mm의 입단이 증가되는 경향이었으나, 2년차의 경우 H1, H2, H3 모두 입단량이 증가되어 1년차 (Kim et al., 2005)의 결과보다 입단형성능이 높아졌다. 그러나 입단형성량은 팽화왕겨의 처리량 증가에 따라서 입단형성량은 증가되지는 않았다. 팽화왕겨+zeolite의 처리 수준을 달리한 HZ1, HZ2, HZ3의 입단화는 1년차의 경우 무처리구에 비하여 2 mm 이상 및 2.0-1.0 mm의 입단이 증가하였는데, 2년

차역시 무처리구에 비하여 입자크기별 입단량의 증가경향을 보여 1년차보다 2년차의 입단화 경향이 뚜렷하였지만 zeolite 처리량수준에 비례하여 입단량이 증가하지는 않았다.

90 DAT에서 이수석고 단일 시용량 처리 효과는 G1>G2 순으로 무처리구에 비하여 그 효과를 인정할 수 있었고, G1>G2>G3 순으로 석고량 증가가 오히려 세사양토의 입단화율이 감소되고 있어 60 DAT의 경향과 같았다. 90 DAT에서도 간척지 세사양토의 입단화를 위한 이수석고 시용수준은 1550 kg 10a<sup>-1</sup> 이하인 것이 확인되었다. 팽화왕겨의 토양 입단화 증가에 기여한 효과는 60 DAT에서 보다 뚜렷하였다.

90 DAT에서 팽화왕겨의 시용은 토양의 입단형성에 효과적으로 이수석고 처리 구에 비하여 7% 정도의 입단화도 증가를 볼 수 있었다. 그러나 팽화왕겨 처리량 증가가 토양의 입단을 증가시키는 결과를 얻기는 어려웠다. 따라서 팽화왕겨시용이 세사양토의 입단형성에 뚜렷한 효과가 인정되었지만 그 처리량의 적정성에 관해서는 더 많은 검토가 필요하다고 생각되었다. 결과적으로 1000 kg 10a<sup>-1</sup> (H1) 이하에서 시용적정량을 결정할 필요가 있다고 생각되었다.

이수석고처리 구에 비해 입단크기 2 mm 이상과 2.0-1.0 mm의 입단화도가 높아지는 개량제의 특성을 나타내었다. 세사양토에 대한 토양개량제의 처리 효과는 HZ1 즉, 팽화왕겨 1500+zeolite 200 kg 10a<sup>-1</sup> (HZ1) 처리 구에서 입단화도가 52.78%로 가장 효과적이었으며, zeolite

**Table 5. Size distributions of soil aggregates in fine sandy loam for treatments of gypsum, popped rice hulls, and popped rice hulls amended with zeolite at 90 DAT.**

Treatments*	Distribution according to size of aggregates at 90 DAT (mm)					Total aggregates (mm)
	>2.0**	2.0-1.0	1.0-0.5	0.5-0.25	0.25-0.1	
	----- % -----					
Control	3.728 ± 0.163 <sup>g</sup>	6.671 ± 0.562 <sup>d</sup>	6.564 ± 0.657 <sup>bc</sup>	3.860 ± 0.636 <sup>b</sup>	11.044 ± 0.304 <sup>a</sup>	31.869 ± 1.605 <sup>de</sup>
G1	4.027 ± 0.202 <sup>g</sup>	7.358 ± 0.432 <sup>cd</sup>	8.275 ± 2.833 <sup>ab</sup>	9.272 ± 4.828 <sup>a</sup>	10.559 ± 2.339 <sup>a</sup>	39.491 ± 8.708 <sup>bc</sup>
G2	7.245 ± 2.311 <sup>cf</sup>	9.854 ± 2.403 <sup>b</sup>	6.466 ± 0.097 <sup>bc</sup>	4.609 ± 0.426 <sup>b</sup>	9.790 ± 0.157 <sup>b</sup>	37.965 ± 4.306 <sup>cd</sup>
G3	4.760 ± 0.500 <sup>fg</sup>	6.528 ± 0.310 <sup>d</sup>	5.654 ± 0.641 <sup>c</sup>	4.499 ± 0.501 <sup>b</sup>	9.367 ± 1.306 <sup>b</sup>	30.807 ± 1.981 <sup>e</sup>
H1	11.383 ± 1.782 <sup>bc</sup>	11.027 ± 2.139 <sup>b</sup>	7.774 ± 0.067 <sup>ab</sup>	5.383 ± 0.356 <sup>b</sup>	10.829 ± 0.179 <sup>a</sup>	46.396 ± 3.903 <sup>ab</sup>
H2	12.897 ± 1.237 <sup>ab</sup>	11.106 ± 0.068 <sup>b</sup>	7.215 ± 0.627 <sup>abc</sup>	4.862 ± 0.266 <sup>b</sup>	9.518 ± 0.406 <sup>b</sup>	45.598 ± 1.689 <sup>b</sup>
H3	10.182 ± 0.459 <sup>bcd</sup>	11.112 ± 1.032 <sup>b</sup>	7.520 ± 0.205 <sup>abc</sup>	5.129 ± 0.235 <sup>b</sup>	10.414 ± 0.180 <sup>a</sup>	44.357 ± 1.076 <sup>bc</sup>
HZ1	14.244 ± 2.537 <sup>a</sup>	13.818 ± 2.262 <sup>a</sup>	8.798 ± 1.096 <sup>a</sup>	5.434 ± 0.160 <sup>b</sup>	10.487 ± 0.442 <sup>a</sup>	52.782 ± 5.375 <sup>a</sup>
HZ2	8.260 ± 0.927 <sup>de</sup>	9.375 ± 0.318 <sup>bc</sup>	7.552 ± 0.881 <sup>abc</sup>	5.321 ± 0.381 <sup>b</sup>	10.530 ± 0.333 <sup>a</sup>	41.040 ± 1.321 <sup>bc</sup>
HZ3	9.225 ± 1.691 <sup>cde</sup>	10.289 ± 1.046 <sup>b</sup>	7.402 ± 0.380 <sup>abc</sup>	4.557 ± 0.370 <sup>b</sup>	10.900 ± 0.729 <sup>a</sup>	42.373 ± 2.54 <sup>bc</sup>

\*G: gypsum, H: popped rice hulls, Z: zeolite.

\*\*Means with the same lettered superscripts of column's are not significantly different at 5% level by Duncan's multiple range test.

**Table 6. Size distributions of soil aggregates in fine sandy loam for treatments of gypsum, popped rice hulls, and popped rice hulls amended with zeolite at 120 DAT.**

Treatments*	Distribution according to size of aggregates at 120 DAT (mm)					Total aggregates (mm)
	>2.0**	2.0-1.0	1.0-0.5	0.5-0.25	0.25-0.1	>0.1
	----- % -----					
Control	3.873 ± 0.502 <sup>bc</sup>	6.038 ± 1.417 <sup>c</sup>	5.682 ± 0.887 <sup>ef</sup>	4.592 ± 0.416 <sup>d</sup>	12.375 ± 0.735 <sup>a</sup>	32.559 ± 3.172 <sup>ef</sup>
G1	4.593 ± 0.450 <sup>bc</sup>	6.238 ± 0.096 <sup>c</sup>	6.408 ± 0.224 <sup>de</sup>	7.856 ± 2.319 <sup>a</sup>	11.295 ± 0.349 <sup>a</sup>	36.390 ± 2.589 <sup>c</sup>
G2	3.295 ± 1.186 <sup>c</sup>	5.646 ± 0.908 <sup>c</sup>	5.044 ± 0.045 <sup>f</sup>	4.480 ± 0.032 <sup>d</sup>	12.406 ± 0.178 <sup>a</sup>	30.872 ± 0.876 <sup>fg</sup>
G3	3.262 ± 0.594 <sup>c</sup>	5.173 ± 0.002 <sup>c</sup>	4.941 ± 0.119 <sup>f</sup>	5.447 ± 0.360 <sup>cd</sup>	9.199 ± 0.826 <sup>b</sup>	28.022 ± 1.030 <sup>g</sup>
H1	9.711 ± 2.946 <sup>a</sup>	9.909 ± 1.108 <sup>b</sup>	6.730 ± 0.152 <sup>cde</sup>	5.276 ± 0.201 <sup>cd</sup>	11.532 ± 0.623 <sup>a</sup>	43.158 ± 2.670 <sup>cd</sup>
H2	11.110 ± 1.621 <sup>a</sup>	12.225 ± 0.549 <sup>a</sup>	8.312 ± 0.043 <sup>ab</sup>	7.251 ± 0.611 <sup>ab</sup>	12.596 ± 1.976 <sup>a</sup>	51.495 ± 0.848 <sup>a</sup>
H3	10.776 ± 0.681 <sup>a</sup>	11.534 ± 1.931 <sup>ab</sup>	8.736 ± 1.556 <sup>a</sup>	6.602 ± 0.662 <sup>abc</sup>	12.102 ± 0.281 <sup>a</sup>	49.751 ± 3.992 <sup>ab</sup>
HZ1	9.837 ± 2.036 <sup>a</sup>	9.992 ± 0.671 <sup>b</sup>	7.784 ± 0.583 <sup>abc</sup>	6.218 ± 0.265 <sup>bc</sup>	12.764 ± 0.345 <sup>a</sup>	46.595 ± 2.821 <sup>bc</sup>
HZ2	6.576 ± 0.223 <sup>b</sup>	10.184 ± 0.049 <sup>b</sup>	7.490 ± 0.471 <sup>bcd</sup>	5.636 ± 0.675 <sup>cd</sup>	11.961 ± 0.693 <sup>a</sup>	41.847 ± 1.863 <sup>d</sup>
HZ3	10.573 ± 1.989 <sup>a</sup>	10.619 ± 0.082 <sup>ab</sup>	8.614 ± 0.457 <sup>ab</sup>	6.790 ± 0.014 <sup>abc</sup>	11.909 ± 0.050 <sup>a</sup>	48.505 ± 2.447 <sup>ab</sup>

\*G: gypsum, H: popped rice hulls, Z: zeolite.

\*\*Means with the same lettered superscripts of column's are not significantly different at 5% level by Duncan's multiple range test.

첨가량을 2배, 또는 4배 조합 처리는 입단화도를 감소시키는 것으로 나타났다. 특히 입단크기 2 mm 이상과 2.0-1.0 mm의 입단화도가 무처리구에 비하여 2~4배 높이는 효과는 특이하였다 (Table 5).

90 DAT의 입단화는 2년차 이수석고 처리로 무처리군 보다 증가하는 경향이나, 1년차의 입단화도와 상대적인 비교를 하면 2 mm 이상과 2.0-1.0 mm의 입단화는 2년차의 경우 G1은 감소되나 G2와 G3는 증가하였고, 이수석고의 사용수준이 증가할수록 오히려 G1>G2>G3 순으로 모두 입단량이 감소되는 경향을 보여, 1년차의 경우 KG2에서 증가한 결과와는 차이가 있음을 확인되었다 (Kim et al., 2005).

팽화왕겨를 처리한 1년차의 입단화는 무처리군보다 KH1과 KH2의 2.0 mm 이상 및 2.0-1.0 mm의 입단이 증가되는 경향이었으나, 2년차의 경우 H1, H2, H3 모두 무처리군 보다 입단량이 증가되어 전보 (Kim et al., 2005)와 유사한 경향을 보였고, 팽화왕겨의 처리에 의한 입단 형성능은 처리수준 및 처리 누적량에 비의존적임을 확인하였다. 팽화왕겨+zeolite 처리하여 형성된 총 입단량이 1년차의 KHZ1에서 가장 높았으며 (Kim et al., 2005), 2년차 역시 HZ1의 입단량이 52.78%로 가장 높아 처리량의 누적으로 인하여 입단화가 더욱 진행되었기 때문으로 생각된다.

120 DAT에서 이수석고 단일처리는 무처리구에 비하여 G1 (1550 kg 10a<sup>-1</sup>)만이 무처리구보다 입단형성에 기여하였으며, G2>G3 순으로 이수석고 처리량 증가가

오히려 세사양토의 입단화도를 감소시키는 것으로 나타났다. 그러나 이수석고의 단일 사용효과의 지속성은 90 DAT>120 DAT>60 DAT 순이어서 이수석고 입단형성효과는 사용 후 늦게 나타나고 어느 정점이 지나면 시간이 지나면서 그 효력이 다소 낮아지는 경향이였다. 120 DAT에서 H2 (2000 kg 10a<sup>-1</sup>)의 입단화도가 51.50%로 가장 높게 나타나고 있어서 팽화왕겨처리는 입단형성 뿐만 아니라 입단유지에도 효과적인 것을 알 수 있었다. 따라서 세사양토의 입단형성을 위한 팽화왕겨의 수준이 2000 kg 10a<sup>-1</sup> 전후인 것으로 추정되었다. 또한 일정 팽화왕겨처리 (1550 kg 10a<sup>-1</sup>)와 zeolite의 첨가조합처리는 zeolite 800 kg 10a<sup>-1</sup> 첨가구에서 48.51%의 입단화도를 나타내고 있어 이와 같은 토양개량제 조합처리의 이용방법에 대한 연구도 필요하다고 생각되었다 (Table 6).

120 DAT의 입단화는 이수석고 처리 2년차의 경우 무처리군에 비하여 G1, G2, G3 모두 증가되는 경향인데 반하여, 1년차의 경우 무처리군보다 KG1, KG2, KG3 모두 감소된 (Kim et al., 2005) 원인에 대하여 깊이 있는 연구가 요구되었다.

팽화왕겨를 처리 1년차의 입단화는 무처리군보다 KH1, KH2, KH3의 2.0-1.0 mm, 1.0-0.5 mm, 0.5-0.25 mm에서만 입단이 증가 되는 경향이었고 (Kim et al., 2005), 2년차의 경우 H1, H2, H3 모두 무처리군에 비하여 입단형성량이 증가하나 뚜렷한 차이는 없었다. 그러나 전체적인 입단형성량은 1년차 보다 2년차의 경우 증가하는 경향이었고, 팽화왕겨의 처리수준 및 처리 누적량에

입단형성량이 의존됨을 알 수 있었다. 팽화왕겨+zeolite 처리 수준을 달리한 입단화 수준은 1년차 보다 2년차에 더 증가되는 경향이었으며 특히, 2.0 mm 이상 및 2.0-1.0 mm의 입단형성량이 많았다.

## 적 요

간척지 세사양토 토양에 Bermuda grass 재배 시 토양 개량제의 사용이 토양 입단화도에 미치는 효과를 보기 위하여 이수석고 1550 (G1), 3100 (G2), 6200 (G3) kg 10a<sup>-1</sup>, 팽화왕겨 1000 (H1), 2000 (H2), 3000 (H3) kg 10a<sup>-1</sup>, 팽화왕겨 1500 kg 10a<sup>-1</sup>에 zeolite를 200 (HZ1), 400 (HZ2), 800 (HZ3) kg 10a<sup>-1</sup>을 각각 조합처리 하는 등 3종의 토양개량제를 처리하고, 60, 90, 120 DAT (처리 후 경과 일수)에서 입단크기별 입단생성 정도를 분석하였다.

60 DAT 세사양토에서 이수석고 단일처리 효과는 G3 경우 1.0-2.0 mm의 입단이, 무처리구 보다 4.66% 감소시키고 있어서 이수석고 사용수준은 1550 kg 10a<sup>-1</sup> 이하였다. 팽화왕겨와 팽화왕겨+zeolite는 토양의 입단 증가에 기여한 효과가 뚜렷하였다. 토양개량제별 입단생성에 대한 효과는 팽화왕겨>팽화왕겨+zeolite>이수석고>무처리 순이었다.

90 DAT에서 토양입단형성에 기여한 G1>G2>G3>무처리 순으로 이수석고의 사용증가가 오히려 세사양토의 입단형성 정도를 감소시켰다. 이때의 이수석고 사용수준도 1550 kg 10a<sup>-1</sup> 이하였다. 90 DAT에서 팽화왕겨처리에 의한 토양 입단형성은 이수석고 처리 경우 보다 7% 이상이 높았다. 특히 2이상과 2.0-1.0 mm의 입단의 양이 높아지고 있었다. 90 DAT에서 토양의 입단형성을 위한 팽화의 사용량은 1000 kg 10a<sup>-1</sup> (H1) 이하였다. 팽화왕겨 1500+zeolite 200 kg 10a<sup>-1</sup> (HZ1) 처리구가 90 DAT에서 입단화도가 52.78%로 가장 효과적이었다. 특히 2 mm 이상과 2.0-1.0 mm의 입단이 무처리구 비하여 2-4배 높았다.

120 DAT에서 팽화왕겨 2000 kg 10a<sup>-1</sup> (H2)의 입단화도가 51.50%로 가장 높게 나타나고 있어 팽화왕겨처리하는 입단형성 작용뿐만 아니라 입단유지에도 효과적이었다. 팽화왕겨처리 (1550 kg 10a<sup>-1</sup>)와 zeolite 800 kg 10a<sup>-1</sup>

조합처리 구에서 48.51%의 입단화도를 나타내고 있었다.

결과적으로 제화도 세사양토의 입단형성 증가를 위한 토양개량제의 처리효과는 팽화왕겨>팽화왕겨+zeolite>이수석고 순이었다.

## 감사의 글

이 논문은 2008년도 원광대학교 교비지원에 의해서 연구되었습니다. 토양샘플링 및 분석을 도와준 원광대학교 생명자원과학대학 식품환경학과와 나영준, 김진호, 박경철, 임석희 학생들에게 감사의 말을 전합니다.

## 인 용 문 헌

- Ahn, Y., S.H. Lee, K.J. Ji, B.D. Hong, H.M. Rho, S.H. Ryu, S.M. Lee, K.H. Han, W.J. Choi, S.I. Yun, and Y.D. Choi. 2002. Studies on changes of soil characteristics and utilization after tidal land reclamation. KARICO Project No. 2002-05-09:31-41.
- Beare, M.H., P.F. Hendrix, and D.C. Coleman. 1994. Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional and no-tillage soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:777-786.
- Elliott, E.T. 1986. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:627-633.
- Jastrow, J.D., T.W. Boutton, and R.M. Miller. 1996. Carbon dynamics of aggregate associated organic matter estimated by carbon-13 natural abundance. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:801-807.
- Kim, S.J., S.H. Beak., S.U. Lee, D.G. Kim, and Y.J. Na. 2005. Effect of Gypsum, Popped Rice Hull and Zeolite on Soil Aggregation in Reclaimed Tideland, Korean J. *Soil Sci. Fert.* 38:231-237.
- NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2000. Method of soil and plant analysis. NIAST, Rural Development Administration, Korea.
- Puget, P., C. Chenu, and J. Balesdent. 1995. Total and young organic matter distributions in aggregates of silty cultivated soils. *Eur. J. Soil Sci.* 46:449-459.