



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

인산석고가 제주도 화산회토양의  
pH, Calcium, Sulfur 및 Aluminium에  
미치는 영향

濟州大學校 大學院

農 學 科

玄 咏 訓

2021年 2月

# 인산석고가 제주도 화산회토양의 pH, Calcium, Sulfur 및 Aluminium에 미치는 영향

指導教授 玄 海 男

玄 咏 訓

이 論文을 農學 碩士學位 論文으로 提出함

2020年 12月

玄咏訓의 農學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長

진 용 철



委 員

김 동 순



委 員

한 해 남



濟州大學校 大學院

2020年 12月



# 목 차

List of Tables .....	ii
List of Figures .....	iii
ABSTRACT .....	iv
I. 서 론 .....	1
II. 재료 및 방법 .....	4
1. 인산석고의 제주도 화산회토양 배양 실험 .....	4
1) 공시재료 및 배양 방법 .....	4
(1) 토양 .....	4
(2) 토양개량제 .....	5
(3) 배양 방법 .....	5
2) 조사내용 .....	6
(1) 토양 화학성 분석 .....	6
(2) 통계분석 .....	6
III. 결과 및 고찰 .....	7
1. 제주도 화산회토양의 토양개량제 처리 효과 .....	7
1) 토양 화학성 변화 .....	7
(1) 토양 pH (H <sub>2</sub> O, KCl) .....	7
(2) 교환성 양이온 (K, Ca, Mg 및 Na) 함량 .....	9
(3) 교환성 Al 함량과 Al 포화도 .....	12
(4) 교환성 S 함량과 유효 황 함량 .....	15
IV. 적 요 .....	17
V. 인 용 문 헌 .....	18

## List of Tables

Table 1. Chemical properties of the soil before experiment. ....	4
Table 2. Available chemical components of the soil ameliorants used in this experiments. ....	5

## List of Figures

Fig. 1. Soil pH (H <sub>2</sub> O, KCl) after soil ameliorant treatment. ....	8
Fig. 2. Concentrations of exchangeable calcium and magnesium after soil ameliorant treatment. ....	10
Fig. 3. Concentration of sum of exchangeable cation after soil ameliorant treatment. ....	11
Fig. 4. Concentrations of exchangeable aluminium and aluminium saturation after soil ameliorant treatment. ....	13
Fig. 5. Concentration of exchangeable aluminium(Cu-K) after soil ameliorant treatment. ....	14
Fig. 6. Concentrations of exchangeable sulfur and absorbed sulfur after soil ameliorant treatment. ....	16

## A B S T R A C T

This study was conducted to investigate the effects of the phosphogypsum on improving soil pH, increasing exchangeable calcium content, decreasing exchangeable aluminum, and supplying sulfur in volcanic ash soil on Jeju Island. The soil samples were collected from black volcanic ash soils (Wimi, Topyeong, Hangyeong, and Haengwon series), very dark brown ash soil (Jeju series) and dark brown soil (Gangjeong series). The soil ameliorants used in the culture experiment were shell meal, dolomitic limestone and phosphogypsum. The culture experiment was carried out at 25°C for 15 days by treating soil ameliorants in 100g of soil.

The soil pH was elevated with soil ameliorants treatment. The exchangeable calcium content was the highest in the soil treated with phosphogypsum, and the total content of exchangeable cations increased with soil ameliorants treatment. The exchangeable aluminum content decreased with soil ameliorants treatment, and the exchangeable aluminum saturation was significantly decreased in the soil treated with phosphogypsum. The exchangeable sulfur content was remarkably increased in the soil treated with phosphogypsum. The ratio of the exchangeable sulfur to absorbed sulfur was measured low only in black volcanic ash soil as it contains a large amount aluminum and iron.

It is suggested that phosphogypsum can be efficiently used as a soil ameliorant to improve chemical properties in jeju soils.

# I. 서 론

인산석고(phosphogypsum)는 인광석으로부터 화학적으로 인산질 비료를 생산하는 과정에서 발생하는 부산물이다. 부산물로 발생하는 인산석고는 시멘트와 석고보드의 제조에 재활용되고 있다. 농업적으로도 활용하기 위해 생석회를 첨가하여 비료공정규격의 석회질비료로 분류되어 부산석고로 등록되어 있다. 그러나 인산 제조과정에서 생산되는 부산물인 인산석고의 양이 워낙 많고 재활용이 원활히 이루어지지 못하여 적체량은 매년 증가하고 있는 실정이다.

산성 토양 개량에 대한 인산석고의 효과 기작은 1)  $\text{SO}_4^{2-}$ 와  $\text{OH}^-$  이온 사이의 리간드 교환으로 인한  $\text{OH}^-$  방출의 결과로 pH가 높아지는 석회공급효과(Self-liming effect), 2)  $\text{Al}^{3+}$ 이 석고( $\text{CaSO}_4$ )와 반응하여  $\text{AlSO}_4^+$ 를 형성하는 이온쌍 효과(Ion pairing effect) 그리고 3) 토양에 처리된 석고( $\text{CaSO}_4$ )는  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 로 변화하여  $\text{Al}^{3+}$ 를 Gypsite ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ )로 불용화시키는 침전 효과 (Precipitation of Basic Aluminum Sulfates)가 있다 (Farina and Channon, 1988; Saigusa and Toma, 1997). 이와 같은 기작으로 인하여 인산석고는 석회에 비해 물에 대한 용해도가 높아 산성 심토 내를 교정하고 토양 내 화학적 조성을 좋게 함으로써 작물의 근권신장을 촉진하고, Aluminium(Al) 독성을 저감시키는 효과가 있다 (Farina and Channon, 1988; Shainberg *et al.*, 1989; Toma *et al.*, 1999; Sumner, 1993; Saigusa and Toma, 1997). 인산석고는 칼슘을 비롯하여 규산, 황, 철, 붕소 등의 비료성분을 함유하고 있기 때문에 토양개량제로서 농업적 이용 가능성이 높은 것으로 알려져 있다 (Shainberg *et al.*, 1989).

인산석고에 대한 국내 연구에 따르면 간척지 토양에서 석고비료를 사용하면 Calcium(Ca) 성분이 토양교질을 개선하여 토양 중 교환성 Sodium(Na) 및 Magnesium(Mg) 함량은 줄고 Ca 함량은 증가되어 제염 효과가 촉진된다고 하였다 (Sohn *et al.*, 2007, Ryu *et al.*, 2010). Chung (2005)은 시설재배지 참외재배 토양에서 인산석고 사용에 의해 토양 산성화, 염류장해 및 유해금속 문제 등이 나타나지 않았으며, 토양 pH 교정, 칼슘과 황의 식물체 내 함량 증대 및 생육 촉진



진 효과가 있어 시설재배지 토양에서 석회비료를 대체할 수 있다고 보고하였다. 김규태 (2006)는 인산석고 시용에 의해 마늘 생육이 관행재배에 비하여 양호하였고, 마늘의 인편에서 황의 함량과 향기 성분의 전구물질인 alliin의 함량도 높게 나타나 마늘 품질을 높일 수 있다고 보고하였다. 그러나 제주도 화산회토양에서 인산석고 시용에 대한 작물 생육 및 토양 화학성의 변화를 연구한 결과는 없었다. 제주도는 감귤과 무 다음으로 마늘 및 양파가 주요 생산원이며 (제주특별자치도, 2018), 인산석고를 시용하면 인산석고에 함유된 황에 의해 이들 작물의 품질이 개선될 것으로 기대된다.

화산분출물에 의해 생성된 Andisols은 allophane과 Al-유기복합체가 주가 되는 토양이다. Al-유기복합체가 주가 되는 화산회토양은 독성 Al의 전구체를 많이 함유하고 있으며, allophane보다 Al 독성에 의한 식물 뿌리의 손상이 크게 발생한다. Matsuyama *et al.* (2005)은 allophane이 풍부한 토양은 Al 독성이 거의 나타나지 않으나, 경작지에서 토양 pH가 낮아지면 allophane에서 Al이 용해될 수 있다고 보고하였다. 일반적으로 교환성 Al (1N KCl 추출)은 Al 독성에 대한 지표이며, 식물에 독성을 유도하는 수준은  $2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  이상이다. 칠레 Acidic Andisols에서 석고 처리가 토양 pH를 약간 증가시키고 교환성 Al을 감소시켰으며, 황의 공급으로 인하여 ryegrass에서  $\text{Al}^{3+}$  독성 효과가 감소되었다. 또한 호밀의 수확량은 석회석이나 석회고토와 유사하게 증가되었다 (Mora *et al.*, 1999). 그러나 Inoue *et al.* (2001)은 일본의 non-allophane Andisols에서 석고를 시용하면 토양의 교환성 Al을 감소시키지 않는다고 보고하였다. Takahashi *et al.* (2006)은 석고 처리로 토양 pH가 약간 감소하였고, 교환성 Al 함량은  $5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  이상인 토양에서 약간 감소 ( $0.1 \sim 1.4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )했다고 보고하였다. 이와 같이 화산회토양에서 인산석고 시용 효과에 대한 선행 연구 결과들은 일관성 있는 경향을 나타내지 않고 있다.

제주도 토양은 현무암에서 유래된 화산분출쇄설물을 주 모재로 하여 발달하였고, 기후, 식생 등 토양생성 조건에 따라 매우 다양한 토양으로 발달하였다 (Song and Kang, 2019a). 제주도 토양의 80 %는 allophane과 Al-humus complexes인 Andisols로 강수량이 많은 제주도의 중앙과 동남부 지역에 주로 분포하고 있다. 강수량이 상대적으로 적고 증발산량이 많은 제주도의 서부와 북부

의 해안과 중산간 지역에는 규산염점토광물이 주 광물인 non-Andisols (e.g. Alfisols, Inceptisols, Mollisols, and Ultisols)이 분포한다 (Song and Kang, 2019b; Park and Koo, 2020). 제주도에서는 관행적으로 Andisols로 분류되는 토양을 화산회토, non-Andisols을 비화산회토라고 명명하고 있고 (Kang, 2020), 토양색에 따라 갈색 산림토, 흑색토, 농암갈색토 및 암갈색토로 크게 4개 토양으로 구분하며 암갈색토는 비화산회토양이다. 해안지역은 중산간 지역에 비하여 경작년대가 오래되었기 때문에 pH, 염기포화도, 유효인산 및 교환성양이온 (K, Ca 및 Mg) 함량이 높은 반면, 유기물과 양이온치환용량은 낮은 경향이다. 또한 경작년대가 오래될수록 pH가 증가하고, 교환성 Al 함량은 감소되며, 인산비료를 사용할수록 활성알루미늄이 인산과 반응하여 불용화된다고 보고하였다 (Hyun *et al.*, 2009; Yoo and Song, 1984a; Yoo and Song, 1984b). 또한 Song and Yoo (1991)는 Al-유기기복합체가 주가 되는 흑색토의 A층에서 교환성 Al 함량이 2 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> 이상이었고, 그 외 토양에서는 매우 낮았다고 보고하였다. Kang (2020)은 제주지역 감귤원 토양에서 적정 pH의 비율은 암갈색 28 %, 농암갈색 22 % 및 흑색 24 %로 낮아 토양 산도 개선이 필요하다고 하였다.

본 연구에서는 제주도의 Andisols과 non-Andisols에서 인산석고의 토양 pH 개선, 교환성 Ca 함량 증가, 교환성 Al 저감 및 황의 공급 효과를 패화석 및 석회고토와 비교하여 인산석고의 효율적인 이용 방안을 마련하고자 수행하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 인산석고의 제주도 화산회토양 배양 실험

#### 1) 공시재료 및 배양 방법

##### (1) 토양

배양 실험에 사용된 토양시료는 흑색화산회토인 위미통(WM), 토평통(TP), 한경통(HG) 및 행원통(HW), 농암갈색토인 제주통(JJ), 암갈색토인 강정통(GJ)을 선정하였으며, 비경작지에서 채취하였다. 토양의 화학적 특성은 Table 1과 같이, 토양 pH 및 교환성 양이온 함량이 다양한 시료들을 선정하였으며, 흑색화산회토의 유기물 함량, CEC,  $Al_o-Al_p$  값은 각각 14.3 ~ 24.4 %, 32.5 ~ 41.6  $cmol_c kg^{-1}$ , 1.10 ~ 2.67 %, 로 농암갈색토 및 암갈색토보다 높았다.

Table 1. Chemical properties of the soil before experiment.

Soil series	pH		OM (%)	$Al_o$ (%)	$Fe_o$ (%)	$Al_p$ (%)	$Al_o-Al_p$ (%)
	H <sub>2</sub> O	KCl					
WM	5.0	4.3	21.5	3.36	2.26	2.26	1.10
TP	4.6	4.2	24.4	3.69	2.80	1.66	2.03
HG	5.5	4.5	21.6	4.01	3.51	1.34	2.67
HW	5.3	4.5	14.3	3.69	2.77	1.31	2.38
JJ	5.5	4.1	5.67	1.51	1.91	0.90	0.61
GJ	5.0	4.1	4.79	0.69	1.37	0.36	0.33

Soil series	CEC ( $cmol_c kg^{-1}$ )	Ex. Cation ( $cmol_c kg^{-1}$ )				
		K	Ca	Mg	Na	Al
WM	40.3	0.16	0.37	0.21	0.28	1.52
TP	41.6	0.28	0.57	0.29	0.41	2.10
HG	34.9	0.33	3.09	0.93	0.33	0.50
HW	32.5	0.18	1.77	0.76	0.23	0.86
JJ	20.0	0.16	0.04	0.07	0.15	1.62
GJ	20.8	0.17	8.79	1.93	0.22	0.33

## (2) 토양개량제

토양개량제는 패화석 (shell meal), 석회고토 (dolomitic limestone) 및 인산석고 (phosphogypsum)를 배양 실험에 이용하였다. 토양개량제는 입자크기에 따른 효과의 오차를 줄이기 위해 풍건시킨 후 비슷한 크기로 분쇄하여 이용하였다. 토양개량제의 가용성 성분 함량은 Table 2와 같이, 알칼리분은 인산석고가 33.6 %로 가장 적었고, CaO 함량은 패화석이 52.1 %로 가장 많았으며, MgO 함량은 석회고토가 17.2 %로 가장 많았다. Al 함량은 패화석, 석회고토 및 인산석고에서 각각 0.04 %, 0.24 %, 0.13 %이었고, Sulfur(S) 함량은 인산석고가 18.6 %로 가장 많았다.

Table 2. Available chemical components of the soil ameliorants used in this experiments.

Soil ameliorants	Alkalinity (%)	CaO (%)	MgO (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Al (%)	S (%)
Shell meal	52.8	52.1	0.48	0.27	0.04	0.28
Dolomitic limestone	52.2	28.6	17.2	0.30	0.24	1.06
phosphogypsum	33.6	33.5	0.08	0.15	0.13	18.6

## (3) 배양 방법

토양개량제의 제주도 화산회토양 개량 효과를 비교하기 위해 항온 배양 실험을 3반복으로 실험하였다. 토양개량제(패화석, 석회고토, 인산석고)는 200 kg 10a<sup>-1</sup>의 비율로, 2 mm 체를 통과한 풍건 토양 100 g에 토양개량제의 알칼리분 함량을 고려하여 패화석과 석회고토 (Alkalinity 52 ~ 53 %)는 각각 0.16 g, 인산석고 (Alkalinity 33.6 %)는 0.28 g을 처리하였다. 배양 조건은 25℃에서 15일간 배양하였고, 토양 수분조건은 포장용수량의 70 %로 조절하였으며, 매일 무게를 측정하여 수분함량을 일정하게 관리하였다.

## 2) 조사내용

### (1) 토양 화학성 분석

토양분석은 농촌진흥청 토양화학분석법 (NIAST, 2010)에 준하여 토양 시료를 풍건시킨 후 2 mm 체를 통과시켜 분석하였다. 토양 pH ( $H_2O$ )는 토양과 증류수의 비율을 1:5, 토양 pH (KCl) 는 토양과 1N KCl의 비율을 1:2로 하여 진탕 후 pH meter (Orion Star A211, Thermo)로 측정하였다. 교환성양이온 (K, Ca, Mg 및 Na)은 1N  $NH_4OAc$  (pH 7.0) 용액으로 침출하여 ICP-OES (JY 138 Ultrace, Jobin Yvon)로 분석하였다. 교환성 Al은 1N KCl 용액, 유기 복합체 Al은 0.5M  $CuCl_2$ 와 0.1M  $Na_4P_2O_7$  용액으로 침출하여 ICP-OES로 분석하였고, Al 포화도는 교환성 Al을 교환성양이온(K, Ca, Mg 및 Na)과 교환성 Al의 합으로 나누어 계산하였다. 교환성 황은 0.15 %  $CaCl_2$  용액, 흡착 및 교환성 황(유효 황)은 0.01M  $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ 용액으로 침출하여 ICP-OES로 분석하였다.

### (2) 통계분석

통계분석은 SPSS (Statistical Package for the Social Science, ver 18.0) 프로그램을 이용하여 토양개량제 처리와 토양에 따른 차이를 비교하기 위하여 two-way ANOVA 분석을 실시하였으며, 사후검정은 유의수준 5 %에서 Turkey's HSD로 분석하였다.

### Ⅲ. 결과 및 고찰

#### 1. 제주도 화산회토양의 토양개량제 처리 효과

##### 1) 토양 화학성 변화

###### (1) 토양 pH (H<sub>2</sub>O, KCl)

토양 pH (H<sub>2</sub>O)는 무처리 토양에서 4.6 ~ 5.5 이었고, 패화석, 석회고토 및 인산석고를 처리한 토양은 각각 5.2 ~ 6.6, 5.3 ~ 6.4, 5.0 ~ 5.8 이었다 (Fig. 1.). 시설재배지 토양 및 칠레 Acidic Andisols에서 석고 처리에 의해 토양 pH 교정 효과가 있다는 보고와 같이 (Chung, 2005; Mora *et al.*, 1999), 실험에 사용된 토양개량제들은 모두 pH를 증가시켰고, 특히 패화석과 석회고토를 처리한 토양이 인산석고를 처리한 토양보다 유의하게 높았으며 ( $p < 0.05$ ), 육지부 토양과 유사한 암갈색토인 강정통에서 토양개량제 처리 효과가 높았다 ( $p < 0.05$ ).

토양 pH (KCl)는 무처리 토양에서 4.1 ~ 4.5 이었고, 패화석, 석회고토 및 인산석고를 처리한 토양은 각각 4.5 ~ 5.5, 4.5 ~ 5.5, 4.4 ~ 5.1 이었다 (Fig. 1.). 토양 pH (H<sub>2</sub>O)의 변화와 유사하게 토양개량제를 처리한 토양에서 무처리 토양보다 높아졌다 ( $p < 0.05$ ).

제주지역 감귤원 토양에서 적정 pH의 비율은 암갈색 28 %, 농암갈색 22 % 및 흑색 24 %로 낮은데 (Kang, 2020), 인산석고 시용 시 패화석 및 석회고토보다는 효과가 다소 낮지만 토양 산도를 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

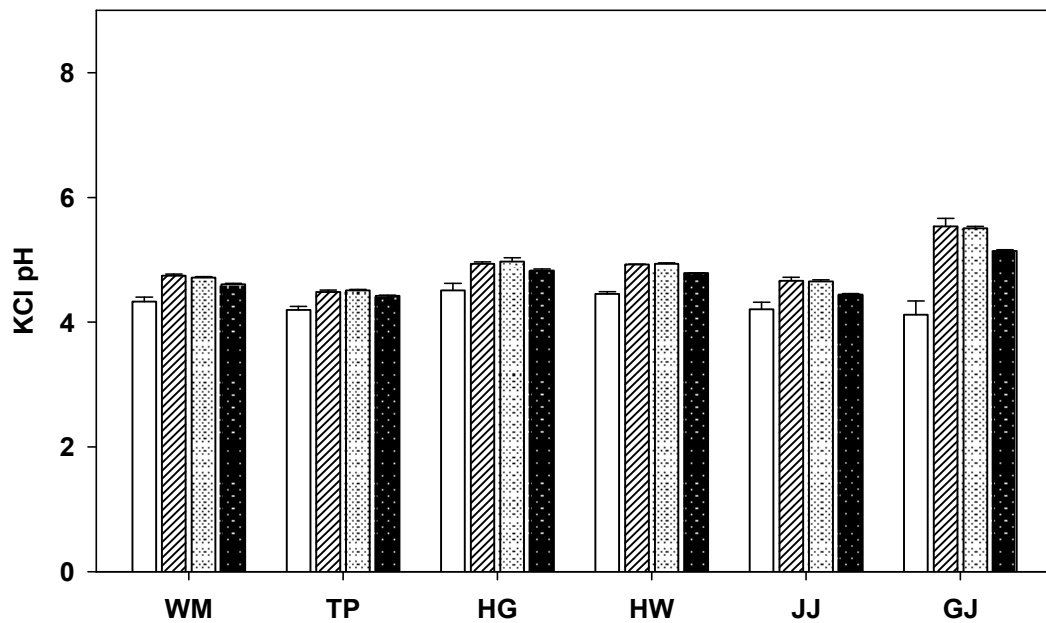
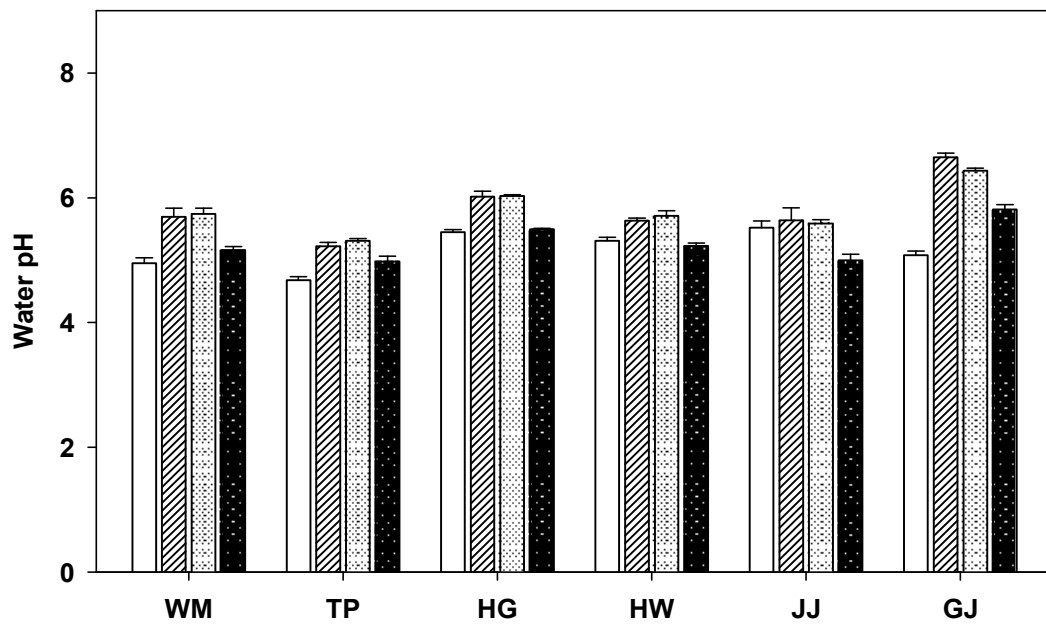


Fig. 1. Soil pH (H<sub>2</sub>O and KCl) after soil ameliorant treatment. The results of a two-way ANOVA showed significant difference in the water pH and KCl pH values both among soil ameliorant treatments and among soils ( $p < 0.01$ ). Control (□), shell meal (▨), dolomitic limestone (▤), phosphogypsum (■)

## (2) 교환성 양이온 (K, Ca, Mg 및 Na) 함량

교환성 K 함량과 Na 함량은 모든 토양에서 각각  $0.19 \sim 0.55 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ,  $0.36 \sim 0.57 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 이었다. 토양개량제 (패화석, 석회고토 및 인산석고)는 K 함량과 Na 함량이 낮아, 토양개량제를 처리한 토양들과 무처리 토양 간에 차이가 없었다.

교환성 Ca 함량은 무처리 토양에서  $0.14 \sim 2.74 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  이었고, 패화석, 석회고토 및 인산석고를 처리한 토양은 각각  $1.50 \sim 4.67 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ,  $0.68 \sim 3.22 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ,  $1.58 \sim 5.35 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  이었다 (Fig. 2.). 이 결과는 간척지 및 시설재배지 토양에서 석고 시용 시 토양 및 식물체 내 Ca 함량이 증가되었다는 보고와 비슷한 경향이였다 (Sohn *et al.*, 2007; Ryu *et al.*, 2010; Cung, 2005). 인산석고를 처리한 토양에서 다른 토양개량제를 처리한 토양보다 Ca 함량이 많았으며, 강정통에서  $2.74 \sim 5.35 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 으로 가장 높았다.

교환성 Mg 함량은 무처리, 패화석 및 인산석고를 처리한 토양 간에는 차이가 없었으나, 석회고토 (MgO 17.2 %)를 처리한 토양에서는 다른 토양개량제를 처리한 토양에서보다 크게 증가하였다 (Fig. 2.).

교환성 양이온의 총 함량은 무처리 토양에서  $1.05 \sim 4.87 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  이었고, 패화석, 석회고토 및 인산석고를 처리한 토양은 각각  $2.39 \sim 7.03 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ,  $2.14 \sim 6.24 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ,  $2.38 \sim 7.54 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 으로 모두 무처리 토양보다 증가하였다 (Fig. 3.). 토평통에서는 패화석을 처리한 토양, 행원통에서는 석회고토를 처리한 토양, 한경통, 제주통 및 강정통에서는 인산석고를 처리한 토양에서 가장 크게 증가하였다.



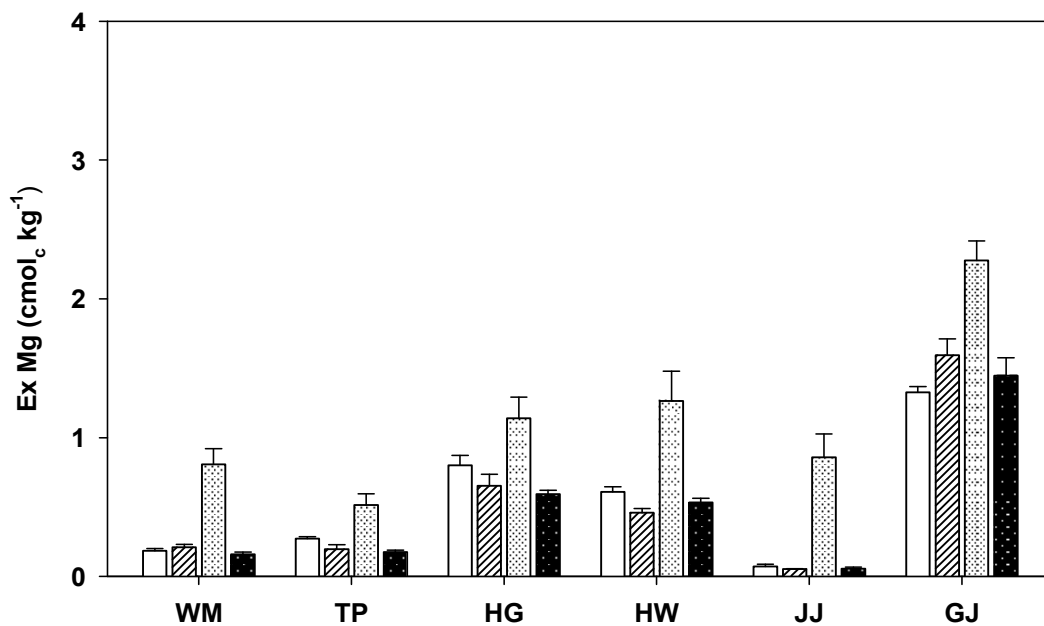
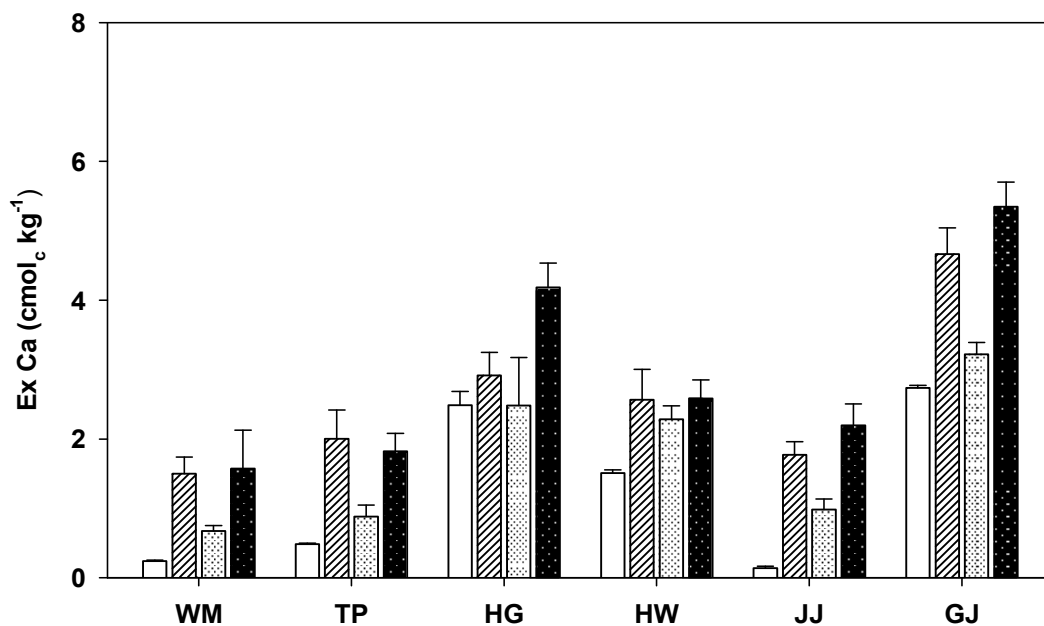


Fig. 2. Concentrations of exchangeable calcium and magnesium after soil ameliorant treatment. The results of a two-way ANOVA showed significant difference in the concentrations of exchangeable calcium and magnesium values both among soil ameliorant treatments and among soils ( $p < 0.01$ ).

Control (□), shell meal (▨), dolomitic limestone (▤), phosphogypsum (■)

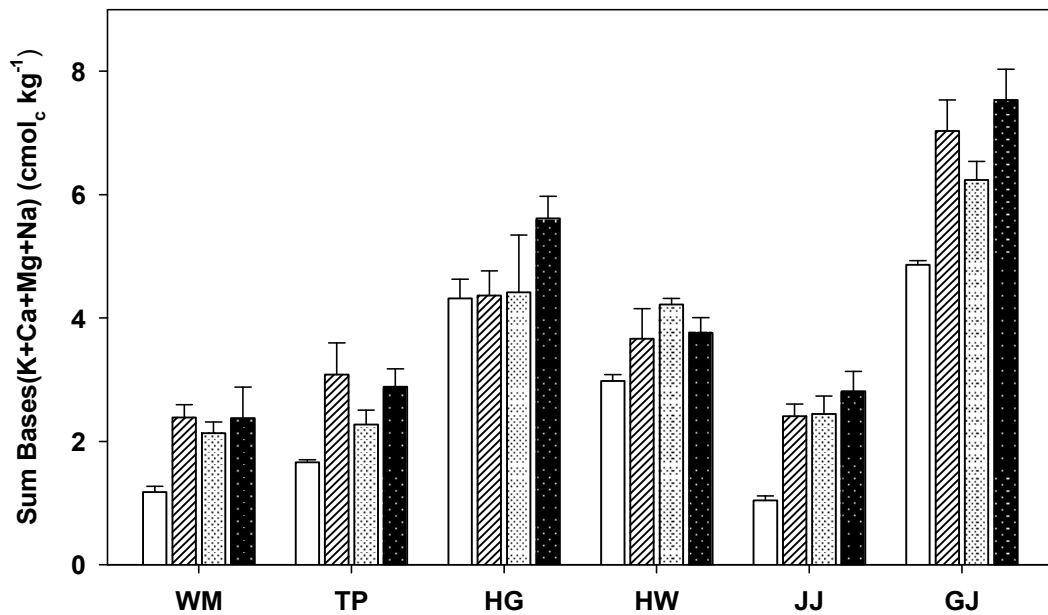


Fig. 3. Concentration of sum of exchangeable cation after soil ameliorant treatment. The results of a two-way ANOVA showed significant difference in the sum of exchangeable cation values both among soil ameliorant treatments and among soils ( $p < 0.01$ ).

Control (□), shell meal (▨), dolomitic limestone (▤), phosphogypsum (■)

### (3) 교환성 Al 함량과 Al 포화도

교환성 Al 함량은 모든 토양에서 토양개량제 처리로 무처리보다 낮아졌다 ( $p < 0.05$ ). 특히 토평통의 무처리 토양에서 교환성 Al 함량은  $2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  이상으로 식물에 독성을 유도하는 수준이었으나 (Saigusa *et al.*, 1980), 토양개량제 처리로  $1.12 \sim 1.40 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 로 감소하였다 (Fig. 4).

석고는 Al의 독성을 개선할 수 있을 것으로 알려져 있으며 (Mora *et al.*, 1999; Takakashi *et al.*, 2006), 인산석고 처리는 토양에 따라 차이는 있었지만 패 화석과 석회고토 처리보다 Al 포화도를 감소시켰다 ( $p < 0.05$ ). 이는 Ca 함량이 증가하고 교환성 Al이 감소하였기 때문이다. 석고 사용으로 인한 토양의 Al 용해도 감소는 hydroxy Al polymer와 Al-hydroxy-sulfate 광물 형성에 기인한 것으로 알려져 있다 (Takahashi *et al.*, 2006).

$\text{CuCl}_2$  침출성 Al 함량과 KCl 교환성 Al 함량의 차이 ( $\text{Al}_{\text{Cu-K}}$ )는 유기물 함량이 높은 토양에서 유기물 복합체를 형성한 Al이며 (Aitken, 1992; Conyers, 1990; Juo and Kamprath, 1979), 토양개량제 처리에 의한 유의한 차이는 없었다 ( $p > 0.05$ ). Hydroxy Al polymer 형성은 교환성 Al을 감소시키고,  $\text{Al}_{\text{Cu-K}}$  값을 증가시킨다 (Takahashi *et al.*, 2006). 그러나 육지부 토양과 유사한 강정통은 무처리보다  $\text{Al}_{\text{Cu-K}}$  값이 감소하였다. 흑색 화산회토양에서는  $\text{Al}_{\text{Cu-K}}$  값이 약간 증가하여 ( $p < 0.05$ ), hydroxy Al polymers가 약간 형성된 것으로 생각된다.

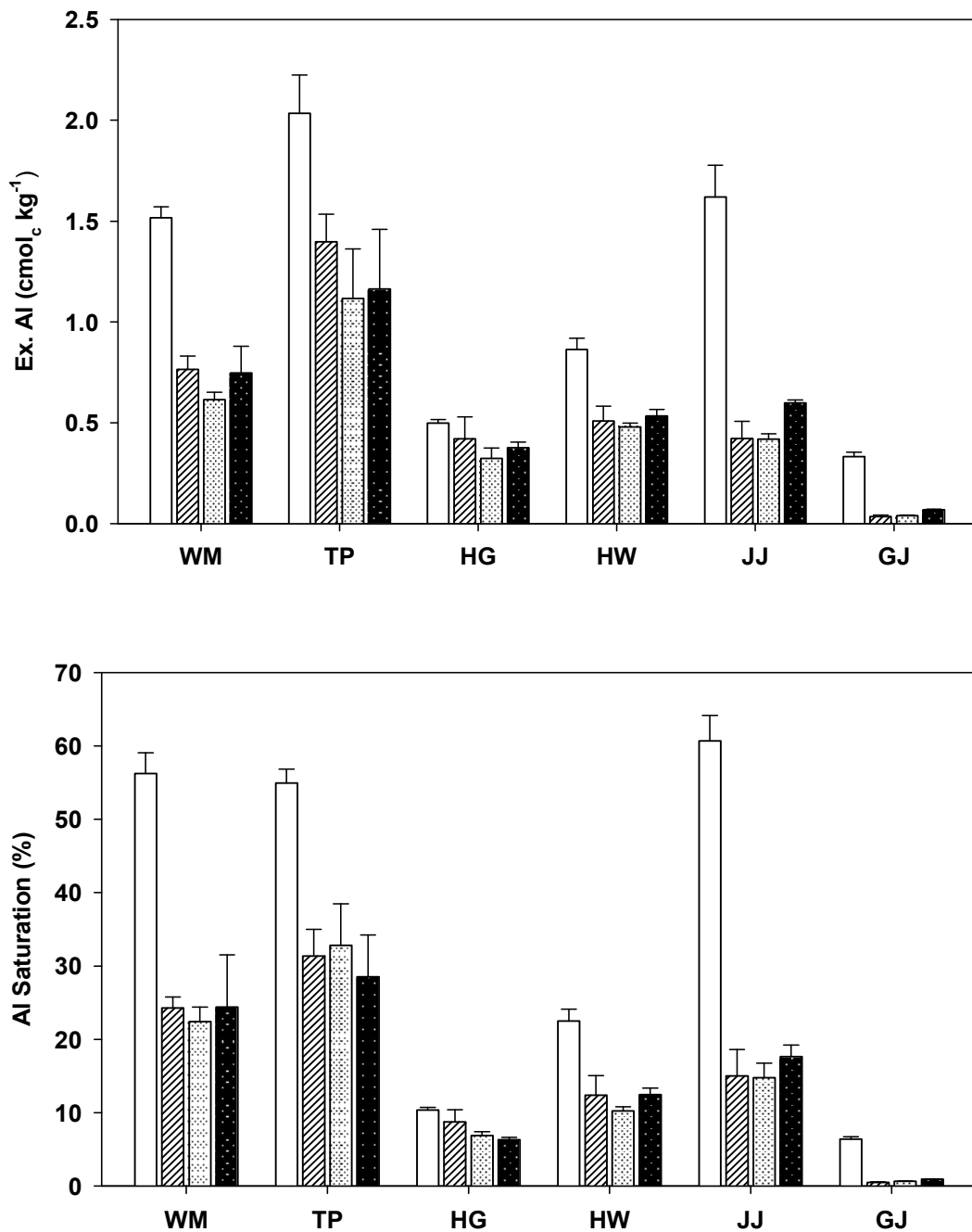


Fig. 4. Concentrations of exchangeable aluminium and aluminium saturation after soil ameliorant treatment. The results of a two-way ANOVA showed significant difference in the concentrations of exchangeable aluminium and aluminium saturation values both among soil ameliorant treatments and among soils ( $p < 0.01$ ). Control (□), shell meal (▨), dolomitic limestone (▤), phosphogypsum (■)

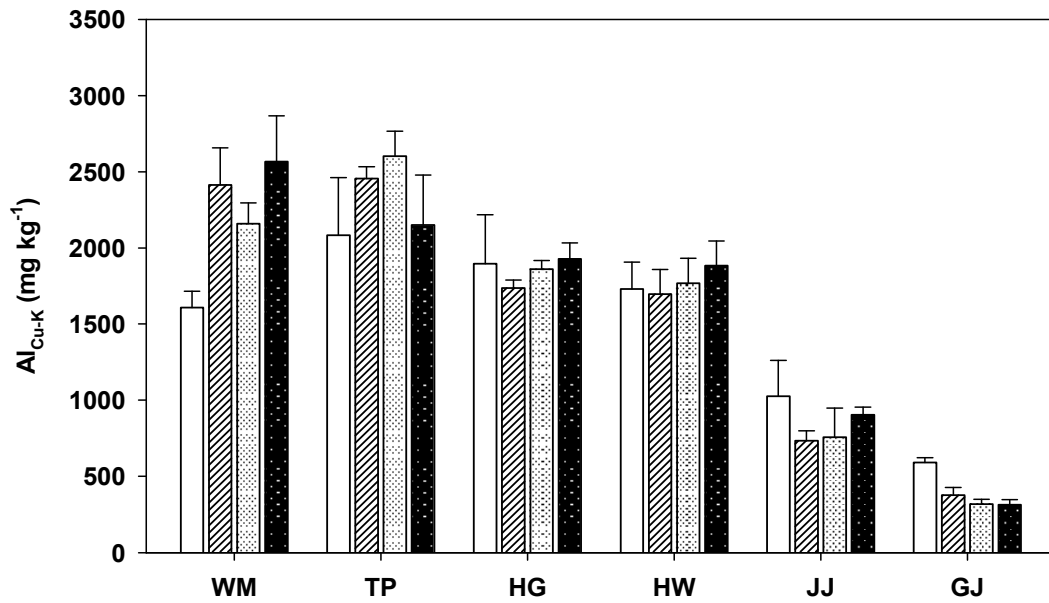


Fig. 5. Concentration of exchangeable aluminium(Cu-K) after soil ameliorant treatment. The results of a two-way ANOVA showed no significant difference in the concentration of exchangeable aluminium(Cu-K) values among soil ameliorant treatments ( $p < 0.01$ ), but there was a significant difference in the concentration of exchangeable aluminium(Cu-K) values among soils ( $p < 0.01$ ). Control (□), shell meal (▨), dolomitic limestone (▤), phosphogypsum (■)

#### (4) 교환성 S 함량과 유효 황 함량

무처리 토양의 교환성 S 함량은  $4.69 \sim 13.9 \text{ mg kg}^{-1}$ 이었다 (Fig. 6.). S 함량이 적은 패화석 (S 0.28 %)과 석회고토 (S 1.06 %)를 처리한 토양에서는  $3.92 \sim 25.9 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 교환성 S 함량의 변화가 적었지만, S 함량이 많은 인산석고 (S 18.6 %)를 처리한 토양에서는  $60.2 \sim 262 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 다른 토양개량제를 처리한 토양보다 크게 증가했다 ( $p < 0.05$ ).

$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  용액으로 침출한 유효 S와  $\text{CaCl}_2$  용액으로 침출한 교환성 S의 차이는  $\text{SO}_4\text{-S}$ 가 Al과 Fe 수산화물 표면에 흡착되거나 Al hydroxysulfate 광물로 침전된 양을 의미한다 (Takahashi *et al.*, 2006). 육지부 토양과 유사한 암갈색토인 강정통은 인산석고 처리에 의해 교환 가능한 교환성 S ( $262 \text{ mg kg}^{-1}$ )로 존재하고 있었으며, 토양 입자에 흡착된 유효 S는 적었다 ( $p < 0.05$ ) (Fig. 6.). 암갈색토인 강정통은 제주도 서부지역에 주로 분포하는 토양으로, 이 지역에서는 마늘과 양파가 주로 재배되고 있다. Kim (2006)은 인산석고 시용에 의해 마늘의 인편에서 황의 함량과 향기 성분의 전구물질인 allin의 함량이 높게 나타나 마늘 품질을 높일 수 있다고 보고하였다. 따라서 제주도 서부지역의 마늘과 양파 재배지에 인산석고를 시용하면 교환성 S 함량을 높임으로써 마늘과 양파의 품질을 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

그러나 Al과 Fe 수산화물 함량이 많은 제주도 흑색 회산회토양들 (Table 1)은 석고 시용으로 흡착된 S 함량이 증가하였다 (Fig. 6.). 이는 석고 시용에 의한  $\text{AlSO}_4^+$ 를 형성하는 효과 및  $\text{Al}^{3+}$ 를 Gypsite ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ )로 불용화시키는 침전 효과 때문에 (Farina and Channon, 1988; Saigusa and Toma, 1997), 교환성 Al이 감소하는 결과를 나타내었다.

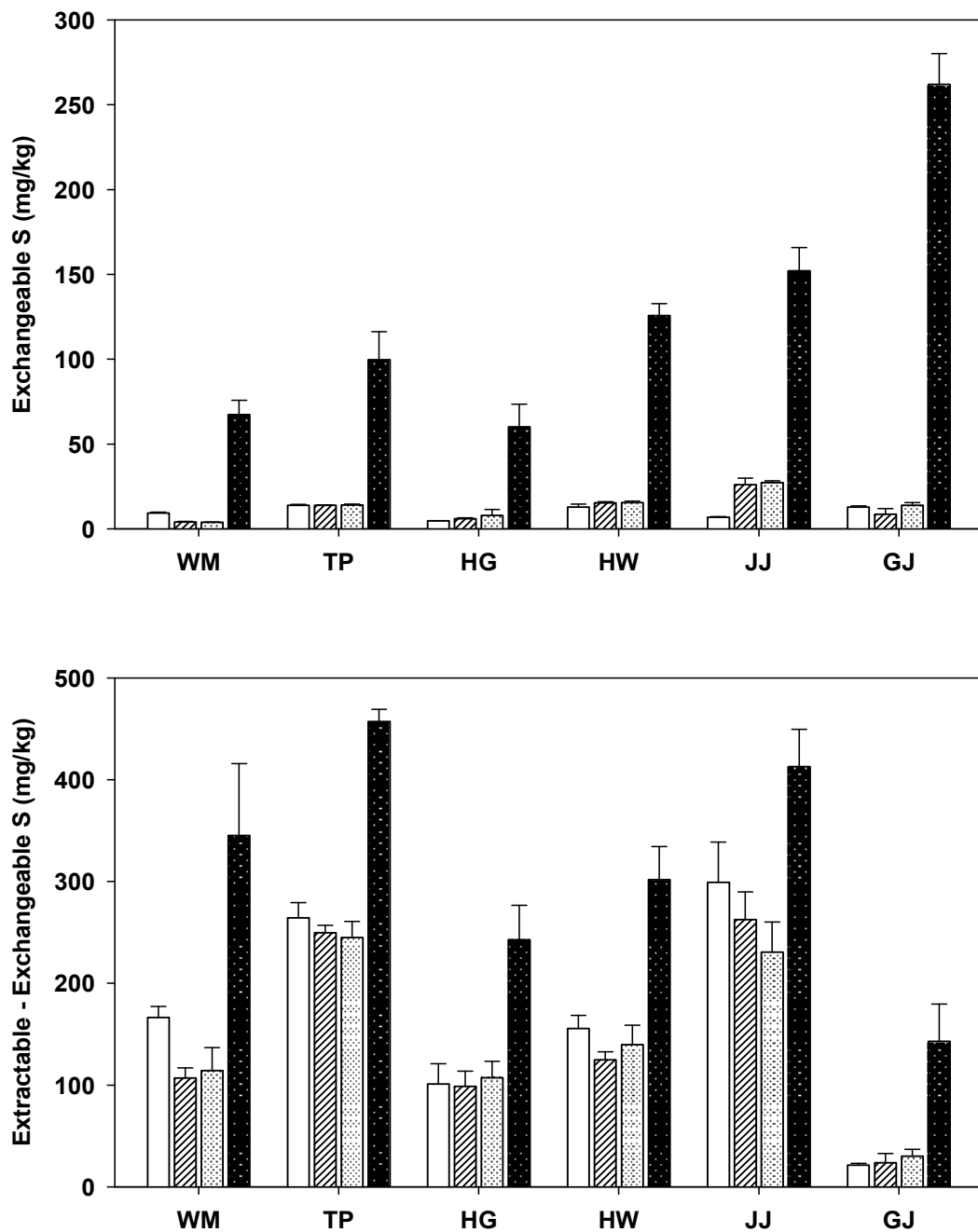


Fig. 6. Concentrations of exchangeable sulfur and absorbed sulfur after soil ameliorant treatment. The results of a two-way ANOVA showed significant difference in the concentrations of exchangeable sulfur and absorbed sulfur values both among soil ameliorant treatments and among soils ( $p < 0.01$ ). Control (□), shell meal (▨), dolomitic limestone (▩), phosphogypsum (■)

## IV. 적 요

본 연구는 제주도의 Andisols과 non-Andisols에서 인산석고의 토양 pH 개선, 교환성 Ca 함량 증가, 교환성 Al 저감 및 황의 공급 효과를 패화석 및 석회고토와 비교 분석하였다.

배양 실험에 사용된 토양시료는 흑색화산회토인 위미통, 토평통, 한경통 및 행원통, 농암갈색토인 제주통, 암갈색토인 강정통을 선정하였으며, 토양개량제는 패화석, 석회고토 및 인산석고를 이용하였다. 배양 방법은 풍건 토양 100 g에 패화석과 석회고토는 각각 0.16 g, 인산석고는 0.28 g을 처리하여 25 °C에서 15일간 배양하였다.

토양 pH (H<sub>2</sub>O, KCl)는 토양개량제를 처리한 모든 토양에서 무처리 토양보다 높아졌고, 특히 패화석과 석회고토를 처리한 토양이 인산석고를 처리한 토양보다 pH (H<sub>2</sub>O)를 증가시켰다.

교환성 Ca 함량은 인산석고를 처리한 토양에서 가장 높았으며, 교환성 Mg 함량은 Mg 함량이 많은 석회고토를 처리한 토양에서 크게 증가하였다. 교환성 양이온의 총 함량은 토양개량제를 처리한 모든 토양에서 증가하였다.

교환성 Al 함량은 모든 토양에서 토양개량제 처리로 무처리보다 낮아졌으며, 인산석고 처리는 토양에 따라 차이는 있지만 패화석과 석회고토 처리보다 Al 포화도를 감소시켰다.

교환성 S 함량은 인산석고를 처리한 토양에서 다른 토양개량제를 처리한 토양보다 크게 증가하였다. 육지부 토양과 유사한 강정통은 인산석고 처리에 의해 교환성 S 형태로 존재하고 있었으며, 유효 S는 적었다. 그러나 Al과 Fe 함량이 많은 제주도 흑색 회산회토양들은 흡착된 S 함량이 증가하였다.

따라서 인산석고 시용은 제주도 화산회토양에서 패화석 및 석회고토에 비하여 토양 pH 개선 효과는 다소 낮지만, 교환성 Ca 함량 증가, 교환성 Al 저감 및 황의 공급 효과가 뛰어나 효율적으로 이용될 수 있을 것으로 판단된다.



## V. 인 용 문 헌

김규태. 2006. 입상인산석고비료가 마늘생육에 미치는 영향. 대구대학교. 석사학위논문.

제주특별자치도. 2018. 농축산식품 현황.

Aitken, RL. 1992. Relationship between extractable Al, selected soil properties, pH buffer capacity and lime requirement in some acidic Queensland soils. *Aust. J. Soil Res.*, 30, 119-130.

Chung, J. B. 2005. Effects of phosphogypsum on the growth of oriental melon and soil properties.

Conyers, M. 1990. The control of aluminium solubility in some acidic Australian soils. *J. Soil Sci.*, 41, 147-156.

Farina, MPW. and Channon, P. 1988. Acid-subsoil amelioration: II. Gypsum effects on growth and subsoil chemical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52, 175 - 180.

Inoue, K., Kondo, S., Tamano, Y., and Yokota, H. 2001. Amelioration of subsoil acidity in a nonallophanic Andosol by surface application of organic calcium salts. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 47, 113 - 122.

Juo, ASR., and Kamprath, EJ. 1979. Copper chloride as an extractant for estimating the potentially reactive aluminium pool in acid soils. *Soil Sci.*,

43, 35-38.

Matsuyama, N., Saigusa, M., Sakaiya, E., Tamakawa, K., Oyamada, Z., and Kudo, K. 2005. Acidification and soil productivity of allophanic Andosols affected by heavy application of fertilizers. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 51, 117 - 123.

NIAST. 2010. Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Swuon, Korea.

Ryu, J. H., Chung, D. Y., Hwang, S. W., Lee, K. D., Lee, S. B., Choi, W. Y., Ha, S. K., and Kim, S. J. 2010. Patterns of leaching and distribution of cations in reclaimed soil according to gypsum incorporation rate. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 43(5), pp.596-601.

Saigusa, M., Shoji, S., and Takahashi, T. 1980. Plant root growth in acid Andosols from northern Japan: 2. Exchange acidity  $Y_1$  as a realistic measure of aluminium toxicity potential. *Soil Science*, 130, 242-250.

Saigusa, M. and Toma, M. 1997. Mechanism of reduction of exchangeable aluminum by gypsum application in acid Andosols. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 43(2), 343-349

Shainberg, I., Sumner, M. E., Miller, W. P., Farina, MPW., Pavan, M. A., and Fey, M.V. 1989. Use of gypsum on soils: a review. *Adv. Soil Sci.*, 9, 1-111.

Sohn, B. K., Lee, D. J., Park, B. K., and Chae, K. S. 2007. Effects of phospho-gypsum fertilizer as reclamation material in the newly

reclaimed paddy fields. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 40(2), pp.145-150.

Sumner, M. E. 1993. Gypsum and acid soils: the world scene. *Adv. Agron.*, 51, 1 - 32.

Toma, M. and Saigusa, M. 1997. Effects of phosphagypsum on ameliorating strongly acid nonallophanic Andosols. *Plant and Soil*, 192, 49 - 55.

Toma, M., Sumner, M. E., Week, G., and Saigusa, M. 1999. Long-term effects of gypsum on crop yield and subsoil chemical properties. *Soil. Sic. Soc. Am. J.*, 39, 891-895

## 감사의 글

토양학 연구실과 인연을 맺은 지도 벌써 20년 이라는 시간이 흘렀습니다.

군대 제대 후 토양학 연구실에서 토양분석 아르바이트를 계기로 연구실에 들어와서 학부를 졸업하고, 2002년 대학원에 진학하였습니다. 그때는 석사를 졸업 하는게 이렇게 오랜 시간이 걸릴지 꿈에도 몰랐습니다. 회사 생활을 하면서 석사 입학 후 2 학기를 마치고 휴학을 하면서 잠시 숨을 고른다는 것이 이렇게 시간이 지났습니다.

아마 최장수 석사 졸업생이 아닐까하는 생각이 듭니다.

감사의 글을 쓸 수 있게 저를 이끌어주신 분이 계십니다. 바로 지도교수님인 현해남 교수님입니다.

2017년 교수님께서 전화로 “영혼아 대학원 졸업은 해야지. 회사 생활이 바쁘고, 힘들어도 학업은 멈추지 말고 마무리해야지”라는 한 통의 전화가 제 마음을 변화시켜 주셨습니다. 엄한 아버지처럼 끊임없이 저를 채찍질하시고, 삶의 방향이 어긋나지 않도록 항상 격려해주신 교수님, 베풀어주신 관심과 사랑 잊지 않겠습니다.

대학교 생활부터 지금까지 교수님을 만난것이 행운이라고 감히 말씀드리고 싶습니다. 진심으로 감사합니다.

논문 발표와 인준지에 도장을 받으러 갈 때 좋은 말씀 아끼지 않으셨던 전용철 교수님, 항상 진중한 말씀으로 부드러운 카리스마를 보여주신 김동순 교수님께도 진심으로 감사드립니다. 그리고 김주성 교수님과 정용석 교수님께도 감사드립니다.

앞으로 자주 찾아 뵙겠습니다.

둘도 없는 나의 친구 박원표 박사. 바쁜 친구를 위해서 석사 논문 방향을 잡아주고 부족한 나를 위해 아낌없이 조언해주고 자기 일처럼 생각하고, 도와주고 지켜봐줘서 정말 고마워. 덕분에 이 글을 쓸 수 있는거 같아. 그리고, 이 글을 마무리할 수 있게 옆에서 도와준 토양학 후배 강해야 고맙다.

회사 생활을 하면서 학위를 마무리할 수 있도록 배려해준 (주)소일테크 강법세 박사님, 오상민 대표님, 현종우 팀장님 그리고 막내 금단이랑 상윤이 고마워.

그리고, 늦게 졸업해서 고생한다고 옆에서 힘을 실어준 토양학 선배님들과 후배들께도 감사하고, 저를 위해 옆에서 지켜봐주신 모든 분들께 감사드립니다.

끝으로 우리 가족들 사랑하고, 항상 신랑을 믿고 응원해주는 아내 최주화 고마워.

학문의 끝이 없듯이 항상 배움의 기회를 만들고, 학업뿐만 아니라 회사 생활도 최선을 다하여 정진하는 모습 보여 드리겠습니다.

감사합니다.