

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2018.51.3.204>

pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

## Effect of Fertilizers Using Ferro-Nickel Slag on Chinese Cabbage Growth and Soil Chemical Properties

Jin-Ju Yun<sup>†</sup>, Byung-Hwa Kang<sup>1†</sup>, Se-Won Kang, Sang-Yoon Kim, Dong-Cheol Seo<sup>2</sup>, and Ju-Sik Cho\*

Department of Bio-Environmental Sciences, Suncheon National University, Suncheon 57922, Korea

<sup>1</sup>Department of R&D, Hyoseok, co., LTD, 857 Kumho-dong, Gwangyang 57812, Korea<sup>2</sup>Division of Applied Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

\*Corresponding author: chojs@sunchon.ac.kr

<sup>†</sup>Both authors contributed equally to this work and are considered as co-first authors.

### ABSTRACT

Received: May 29, 2018

Revised: June 13, 2018

Accepted: August 31, 2018

This study was conducted to investigate the application effect of fertilizer using ferro-nickel slag on Chinese cabbage cultivations in upland field. Field experiments were designed with control (Cn), ferronickel slag soil conditioner fertilizer (FNS SCF), ferronickel magnesium fertilizer (FNS MGF), and conventional silicate fertilizer (CSF) treatments. Chinese cabbage fresh weight, length, leaf width, and leaf number during the harvest period showed high growth at the FNS SCF and FNS MGF treatment area. Compared to the control group, the FNS SCF and CSF treatment areas showed 26% heavier fresh weight. During the harvest period, compared to the growing period, the content of inorganic components in Chinese cabbage seemed to decrease, but Na<sub>2</sub>O was increasing in the root. The T-N showed pretty high in the outer leaf at the CSF and FNS MGF treatment areas. Heavy metal content of Chinese cabbage during the harvest period, compared to the growth period, showed overall decrease. During the harvest, the Ni content in the outer leaf showed highest at FNS MGF, in the inner leaf highest at Cn treatment area, and in the root highest at the FNS SCF treatment area.

**Keywords:** Ferro-nickel slag, Silicate fertilizer, Chinese cabbage, Growth properties, Soil chemical properties

### Growth properties of Chinese cabbage in harvest period.

Treatment <sup>†</sup>	Fresh weight (g plant <sup>-1</sup> )		Head width	Head height	Head tightness
	Plant weight	Head weight	(cm)	(cm)	
Cn	3.92 <sup>a</sup>	2.41 <sup>a</sup>	17.0 <sup>a</sup>	27.6 <sup>ab</sup>	10.73 <sup>a</sup>
FNS SCF	4.88 <sup>b</sup>	3.12 <sup>b</sup>	18.7 <sup>b</sup>	28.9 <sup>b</sup>	13.00 <sup>b</sup>
CSF	4.94 <sup>b</sup>	3.10 <sup>b</sup>	18.7 <sup>b</sup>	28.4 <sup>ab</sup>	12.97 <sup>b</sup>
FNS MGF	4.33 <sup>ab</sup>	2.73 <sup>ab</sup>	18.0 <sup>ab</sup>	26.8 <sup>a</sup>	11.95 <sup>ab</sup>

<sup>†</sup>Cn, control; FNS SCF, ferronickel slag soil conditioner fertilizer; CSF, conventional silicate fertilizer; FNS MGF, ferronickel magnesium fertilizer.



## Introduction

현재 우리나라 철강 산업은 국가 핵심 기초산업으로서 고품질의 철강소재를 자동차, 조선, 건설 등 수요산업에 안정적으로 공급함으로써 우리나라 경제성장을 주도해 왔다 (Kim et al., 2013). 제조공정의 특성상 대량의 원료와 에너지를 소비하고 철강을 생산할 뿐만 아니라 수많은 종류의 부산물 및 폐기물을 다량 발생시키며 주 제품인 철강의 약 50%에 이르고 있다 (Choi et al., 2007a). 정부에서는 자원화를 통해 산업부산물의 재활용 비율을 선진국 수준으로 끌어올리기 위한 노력을 하고 있으나, 아직까지 부정적 인식과 관심부족 등으로 인하여 재활용 되지 못하고 있다 (Choi et al., 2007b).

페로니켈은 스테인리스 스틸 (Steel)의 주원료로서 순니켈을 약 20% 함유 (Fe 80%)하는 철과 니켈의 혼합물 형태로서, 전기로 또는 로터리 킬른 (Rotary kiln)에서 제련하여 생성되며, 제련 시 암석성분의 부산물인 페로니켈슬래그 [Ferronickel slag (이하 "FNS")]가 발생된다 (Jeong et al., 2009). FNS는 대부분이 모래와 같은 상태로 부산되어 견고하고 흡수율이 작으며, 염기도가 상대적으로 낮아 물리·화학적으로 안정되어 있다. 또한 FNS의 광물 구성은 산화규소 ( $\text{SiO}_2$ ) (50~55%), 산화마그네슘 ( $\text{MgO}$ ) (30~35%) 및 철 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) (5~10%)이 가장 많은 함유량을 나타내며 사문석 (Serpentine,  $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) 및 Olivine, ( $\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$ )과 마그네슘 함량이 유사하여 유용한 자원으로 활용 가능성이 매우 높다 (Kim et al., 2011).

보통 니켈 1톤당 약 30톤의 FNS가 발생하며, 년간 200만 톤 (2016년) 규모로 발생되고 화학적으로 안정하기 때문에 채움재 및 콘크리트 골재로서의 활용가능성이 상당히 높다고 알려져 있다. 이에 따라 해외에서는 오래전부터 뉴칼레도니아, 일본 등에서 FNS의 연구가 수행되었으며, 연구단계를 지나 실용화 시스템을 구축하였다. 일본의 경우 콘크리트용 FNS 골재를 국가표준화 (JIS)하고 산업 전반적으로 활용을 극대화하여 현재 발생하는 FNS를 거의 100% 재활용하고 있다 (Lee, 2013). 국내에서도 2009년 한국산업규격 (KS F 2790)의 제정과 콘크리트시공 지침서 마련과 함께 콘크리트용 잔골재로 대부분 사용되고 있으며, 도로용 노반재, 토목용 골재 및 제철용 원료 등으로 활용되고 있다. 하지만 대부분의 활용 용도가 지역적으로 제한되어 있으며, 대체가능한 경쟁 물질이 있어 경제적으로 고부가가치 활용이 부족한 것이 사실이다.

또한 토목 및 건축용 활용을 위한 연구와 Mg 금속과 Si 결정을 추출하기 위한 다양한 방안이 시도 되었지만, 비료제조와 토양개량효과를 얻기 위한 연구가 없어 FNS를 이용한 농업적 이용에 관한 연구가 필요한 실정이다.

따라서 본 연구는 페로니켈슬래그에 풍부하게 함유되어 있는  $\text{SiO}_2$  와  $\text{MgO}$  성분을 이용하여 구산, 고토 및 석회를 공급하는 토양개량비료와 고토 ( $\text{MgO}$ )성분을 추출하여 제조된 비료를 토양에 사용하여 배추의 생육과 토양의 특성 변화에 미치는 영향을 조사하였다.

## Materials and Methods

**공시 재료** 본 시험은 전라남도 순천시 서면 지본리에 위치한 순천대학교 부속농장에서 실시하였고, 재배 시험 전에 조사한 공시 토양의 화학적 특성은 Table 1에 나타내었다. 토양의 pH는 5.38로 약산성이었고, EC는  $0.295 \text{ dS m}^{-1}$ , OM 함량은 4.26 %이었으며, 토양 CEC는  $6.09 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 으로 조사되었다. 시험에 사용된 공시 작물은 강력여름 배추 (*Brassica juncea* var. *integrifolia*)를 사용하였다.

**Table 1.** Chemical properties of experimental soil used in the study.

pH	EC	OM	T-N	Av. $\text{P}_2\text{O}_5$	Exch. cations ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )				
					K	Ca	Mg	Na	CEC
1:5	$\text{dS m}^{-1}$	----- % -----		$\text{mg kg}^{-1}$					
5.38	0.295	4.26	0.189	517.7	0.85	2.95	0.86	0.11	6.09

**실험방법** 페로니켈슬래그를 이용하여 제조한 비료에 따른 배추의 생육 및 토양에 미치는 영향을 조사하기 위한 처리조건은 대조구 (Cn, control), 페로니켈슬래그와 석회성분 개질제를 첨가하여 제조한 FNS 토양개량비료 처리구 (FNS SCF, ferronickel slag soil conditioner fertilizer), 일반 규산질비료 처리구 (CSF, conventional silicate fertilizer), 페로니켈슬래그를 산성 침출액으로 마그네슘 성분을 분리 결정하여 제조한 FNS 고토비료 처리구 (FNS MGF, ferronickel magnesium fertilizer)의 4처리구를 두었다. 각 시험구는 처리구간에 영향이 최소한이 되도록 분할 구배치법으로 구분하였으며, FNS SCF 1200 g, FNS MGF 180 g, CSF 1200 g을 시비하였다. 배추는 2009년 9월 6일 ~ 2009년 12월 2일까지 재배하였고, 상기조건하에서 페로니켈슬래그를 이용하여 제조된 비료와 이미 시판중인 비료의 종류에 따른 배추의 생육특성, 무기성분 및 중금속 특성, 토양의 화학적 특성을 각각 조사하였다.

**분석방법** 본 시험에 사용된 토양, 식물체 분석은 농촌진흥청의 토양 및 식물체분석법 (NIAST, 2000)에 준하여 분석하였다. 토양 pH 및 EC는 pH meter와 EC meter (Orion, Model 160, Germany)로 분석하였으며, T-N은 Kjeldahl 법, 유효규산은 NaOAc법, 치환성 양이온은 1N-Ammonium acetate (pH 7.0) 침출법으로 각각 분석하였다. 식물체 분석을 위한 시료는 dry oven 80°C에서 건조하여 40 mesh 이하로 분쇄한 후 사용하였다. 식물체 분석은 농업과학기술원의 토양 및 식물체분석법에 준하여 시료를 습식 분해액으로 분해시킨 여액을 필요에 따라 희석하여 T-N은 Kjeldahl법, SiO<sub>2</sub>는 분해 후 여과하여 여과지에 남은 성분을 회화로에 넣고, 600°C에서 항량의 무게가 될 때까지 회화시켰다. K<sub>2</sub>O, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O 및 중금속은 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 법으로 습식 분해 후 ICP (OPTIMA 5300DV, PerkinElmer, USA) 및 ICP-MS로 분석하였다.

## Results and Discussion

**배추의 생육 특성** 배추의 생육기와 수확기의 생육비교는 Table 2, Table 3에서 보는 바와 같다. 생육 중기의 대조구 배추한포기의 지상부 생체중은 353.3 g, FNS SCF 처리구는 612.5 g으로 대조구에 비해 73.3% 증가하였고, Cn 처리구에 비해 모든 처리구에서 생육상태가 우월하였다.

**Table 2.** Growth properties of Chinese cabbage in growth period.

Treatment <sup>†</sup>	Fresh weight (g plant <sup>-1</sup> )		Length (cm)		Leaf width	No. of leaf
	Shoot	Root	Shoot	Root		
Cn	353.3 <sup>a†</sup>	7.0 <sup>a</sup>	29.8 <sup>a</sup>	20.5 <sup>a</sup>	21.7 <sup>a</sup>	20.5 <sup>a</sup>
FNS SCF	612.5 <sup>a</sup>	12.3 <sup>b</sup>	32.0 <sup>a</sup>	20.7 <sup>a</sup>	25.7 <sup>a</sup>	24.0 <sup>a</sup>
CSF	545.7 <sup>a</sup>	9.2 <sup>ab</sup>	33.7 <sup>a</sup>	23.1 <sup>a</sup>	23.0 <sup>a</sup>	22.7 <sup>a</sup>
FNS MGF	523.3 <sup>a</sup>	9.3 <sup>ab</sup>	29.7 <sup>a</sup>	20.4 <sup>a</sup>	21.7 <sup>a</sup>	21.7 <sup>a</sup>

<sup>†</sup> Cn, control; FNS SCF, ferronickel slag soil conditioner fertilizer; CSF, conventional silicate fertilizer; FNS MGF, ferronickel magnesium fertilizer.

<sup>‡</sup> Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's Multiple Range Test.

**Table 3.** Growth properties of Chinese cabbage in harvest period.

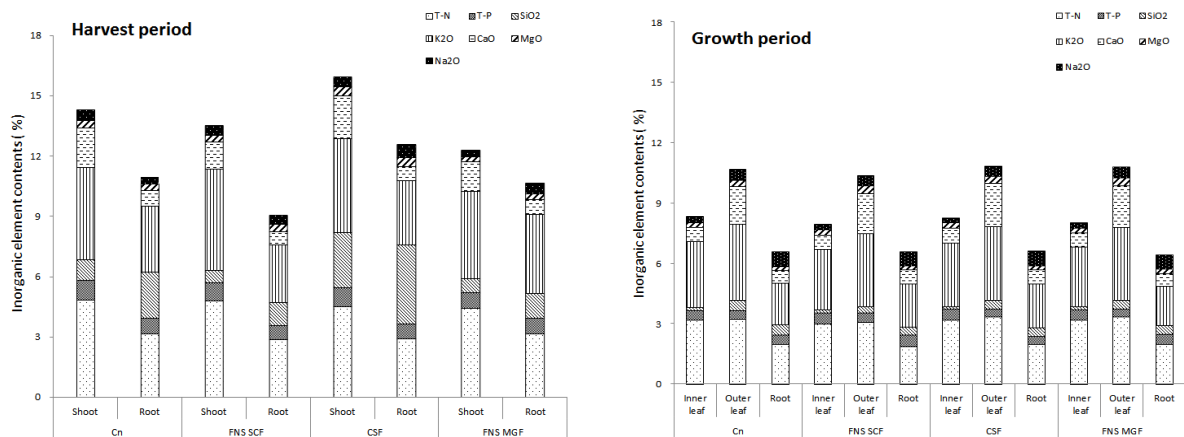
Treatment <sup>†</sup>	Fresh weight (g plant <sup>-1</sup> )		Head width	Head height	Head tightness
	Plant weight	Head weight	(cm)	(cm)	
Cn	3.92 <sup>a†</sup>	2.41 <sup>a</sup>	17.0 <sup>a</sup>	27.6 <sup>ab</sup>	10.73 <sup>a</sup>
FNS SCF	4.88 <sup>b</sup>	3.12 <sup>b</sup>	18.7 <sup>b</sup>	28.9 <sup>b</sup>	13.00 <sup>b</sup>
CSF	4.94 <sup>b</sup>	3.10 <sup>b</sup>	18.7 <sup>b</sup>	28.4 <sup>ab</sup>	12.97 <sup>b</sup>
FNS MGF	4.33 <sup>ab</sup>	2.73 <sup>ab</sup>	18.0 <sup>ab</sup>	26.8 <sup>a</sup>	11.95 <sup>ab</sup>

<sup>†</sup>Cn, control; FNS SCF, ferronickel slag soil conditioner fertilizer; CSF, conventional silicate fertilizer; FNS MGF, ferronickel magnesium fertilizer.

<sup>‡</sup>Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's Multiple Range Test.

그리고 수확기의 Cn 처리구 배추한포기의 주중은 3.92 kg으로 CSF 처리구는 26.0% 증가한 4.94 kg으로 나타났으며, 결구긴도는 Cn 처리구에서 10.7 이지만 FNS SCF 처리구에서는 21.1% 우월한 13.0 으로 나타났다. 구폭, 구고 또한 Cn 처리구에 비해 FNS SCF 처리구에서 우월하게 나타났다. 이상의 결과로 미루어 볼 때 FNS SCF는 시판비료에 비하여 배추의 생육에 좋은 결과를 주며, 시비효과도 양호할 것으로 판단된다.

**배추의 무기성분 함량** 비료의 종류에 따른 배추의 생육기와 수확기의 무기성분 함량은 Fig. 1에서 보는바와 같다. 배추의 무기성분 함량은 전반적으로 유사한 경향이었으며, 지하부보다 지상부의 질소함량이 높았다. 생육기의 SiO<sub>2</sub>함량은 CSF 처리구에서 가장 높게 나타나고, 지상부보다 지하부의 SiO<sub>2</sub>함량이 높았다. 생육기 FNS SCF 처리구의 지상부에서는 K<sub>2</sub>O가 높게 나타나고, CSF 처리구의 지하부에서는 SiO<sub>2</sub>가 높게 나타났다. 수확기에는 생육기에 비해 무기성분 함량이 낮아지는 현상을 보였으나, 뿌리에서는 Cn 처리구 및 모든 처리구에서 Na<sub>2</sub>O가 증가하였다. 수확기 SiO<sub>2</sub>함량은 내엽보다 외엽에서 높게 나타나고, 외엽과 뿌리의 SiO<sub>2</sub>함량은 유사하게 나타났다. 수확기 T-N은 CSF와 FNS MGF 처리구의 외엽에서 높게 나타나고, CaO는 CSF 처리구 외엽에서, MgO는 FNS SCF와 FNS MGF 처리구의 외엽에서 높게 나타났다.



**Fig. 1.** Distribution of inorganic element contents by different treatment (Cn, control; FNS SCF, ferronickel slag soil conditioner fertilizer; CSF, conventional silicate fertilizer; FNS MGF, ferronickel magnesium fertilizer).

일반적으로 배추의 무기성분 함량은 질소(N) 25~29 g/kg, 인(P) 2~4 g/kg, 칼리(K) 18~28 g/kg, 칼슘(Ca) 15~30 g/kg, 붕소(B) 20~50 mg/kg 수준인 것으로 알려진다. 본 시험에서 단백질 구성성분인 질소는 내·외엽, 인은 내·외엽, 뿌리 모두, 칼리는 외엽에서 각각 평균치 이상이였다.

**배추의 중금속 함량** 배추의 생육기와 수확기의 중금속함량은 Table 4, Table 5와 같다. 중금속함량은 전체적으로

**Table 4.** Heavy metals content of Chinese cabbage in growth period.

Treatment <sup>†</sup>		As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Ti
----- mg kg <sup>-1</sup> -----										
Cn	Shoot	ND <sup>‡</sup>	ND	ND	7.16 <sup>a</sup>	ND	1.83 <sup>a</sup>	1.46 <sup>a</sup>	45.14 <sup>a</sup>	12.28 <sup>ab</sup>
	Root	0.12 <sup>a§</sup>	0.55 <sup>a</sup>	9.83 <sup>a</sup>	6.18 <sup>a</sup>	ND	2.59 <sup>a</sup>	ND	38.35 <sup>a</sup>	78.16 <sup>ab</sup>
FNS SCF	Shoot	ND	ND	0.16 <sup>a</sup>	6.09 <sup>a</sup>	ND	ND	ND	66.87 <sup>a</sup>	19.2 <sup>b</sup>
	Root	ND	0.45 <sup>a</sup>	12.20 <sup>a</sup>	23.78 <sup>b</sup>	ND	3.71 <sup>a</sup>	ND	78.00 <sup>a</sup>	86.08 <sup>ab</sup>
CSF	Shoot	0.29 <sup>a</sup>	0.24 <sup>a</sup>	0.68 <sup>a</sup>	3.69 <sup>a</sup>	ND	1.01 <sup>a</sup>	ND	37.65 <sup>a</sup>	11.58 <sup>ab</sup>
	Root	ND	0.89 <sup>a</sup>	15.18 <sup>a</sup>	9.77 <sup>ab</sup>	ND	3.94 <sup>a</sup>	ND	48.74 <sup>a</sup>	118.81 <sup>b</sup>
FNS MGF	Shoot	ND	0.88 <sup>a</sup>	1.87 <sup>a</sup>	3.09 <sup>a</sup>	ND	ND	ND	56.03 <sup>a</sup>	6.31 <sup>a</sup>
	Root	ND	ND	8.80 <sup>a</sup>	9.97 <sup>ab</sup>	ND	2.27 <sup>a</sup>	2.09 <sup>a</sup>	83.86 <sup>a</sup>	42.51 <sup>a</sup>

<sup>†</sup>Cn, control; FNS SCF, ferronickel slag soil conditioner fertilizer; CSF, conventional silicate fertilizer; FNS MGF, ferronickel magnesium fertilizer.

<sup>‡</sup>ND = Less than 0.05 mg kg<sup>-1</sup>

<sup>§</sup>Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's Multiple Range Test.

**Table 5.** Heavy metals content of Chinese cabbage in harvest period.

Treatment <sup>†</sup>		As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Ti
----- mg kg <sup>-1</sup> -----										
Cn	Inner leaf	0.40 <sup>a§</sup>	0.05 <sup>b</sup>	ND	4.23 <sup>a</sup>	ND	3.02 <sup>a</sup>	14.49 <sup>a</sup>	32.15 <sup>a</sup>	1.90 <sup>b</sup>
	Outer leaf	ND <sup>‡</sup>	0.27 <sup>a</sup>	0.59 <sup>a</sup>	4.03 <sup>b</sup>	ND	2.15 <sup>a</sup>	ND	32.46 <sup>a</sup>	7.47 <sup>a</sup>
	Root	ND	0.34 <sup>a</sup>	1.11 <sup>a</sup>	5.00 <sup>a</sup>	ND	1.52 <sup>a</sup>	4.49 <sup>a</sup>	51.24 <sup>a</sup>	18.81 <sup>a</sup>
FNS SCF	Inner leaf	ND	ND	2.42 <sup>b</sup>	3.21 <sup>a</sup>	ND	1.37 <sup>a</sup>	4.72 <sup>a</sup>	35.67 <sup>a</sup>	1.31 <sup>a</sup>
	Outer leaf	ND	0.27 <sup>a</sup>	0.59 <sup>a</sup>	4.03 <sup>b</sup>	ND	2.15 <sup>a</sup>	ND	32.46 <sup>a</sup>	7.47 <sup>a</sup>
	Root	ND	1.16 <sup>a</sup>	1.05 <sup>a</sup>	5.36 <sup>a</sup>	ND	3.40 <sup>a</sup>	ND	35.83 <sup>a</sup>	19.04 <sup>a</sup>
CSF	Inner leaf	ND	0.27 <sup>b</sup>	ND	4.09 <sup>a</sup>	ND	0.91 <sup>a</sup>	1.88 <sup>a</sup>	45.37 <sup>a</sup>	0.77 <sup>a</sup>
	Outer leaf	ND	0.47 <sup>a</sup>	1.18 <sup>a</sup>	4.16 <sup>b</sup>	ND	1.69 <sup>a</sup>	0.16 <sup>a</sup>	33.35 <sup>a</sup>	8.87 <sup>a</sup>
	Root	0.05 <sup>a</sup>	1.06 <sup>a</sup>	ND	5.00 <sup>a</sup>	ND	1.36 <sup>a</sup>	ND	38.49 <sup>a</sup>	23.91 <sup>a</sup>
FNS MGF	Inner leaf	ND	ND	0.75 <sup>ab</sup>	4.25 <sup>a</sup>	ND	2.23 <sup>a</sup>	0.52 <sup>a</sup>	44.03 <sup>a</sup>	0.93 <sup>a</sup>
	Outer leaf	0.38 <sup>a</sup>	ND	2.46 <sup>b</sup>	2.43 <sup>a</sup>	ND	3.01 <sup>a</sup>	1.65 <sup>a</sup>	43.05 <sup>a</sup>	6.60 <sup>a</sup>
	Root	0.39 <sup>a</sup>	1.10 <sup>a</sup>	1.50 <sup>a</sup>	5.98 <sup>a</sup>	ND	2.15 <sup>a</sup>	3.72 <sup>a</sup>	44.77 <sup>a</sup>	18.52 <sup>a</sup>

<sup>†</sup>Cn, control; FNS SCF, ferronickel slag soil conditioner fertilizer; CSF, conventional silicate fertilizer; FNS MGF, ferronickel magnesium fertilizer.

<sup>‡</sup>ND = Less than 0.05 mg kg<sup>-1</sup>

<sup>§</sup>Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's Multiple Range Test.

로 생육기보다 수확기에 감소하였고, 모든 처리구에서는 Ni함량이 생육기보다 수확기에 감소하였으나 Cn 처리구의 지상부에서는 증가하는 현상이 나타났다. 수확기에는 FNS SCF 처리구 뿌리의 Ni함량이 Cn 처리구 뿌리의 Ni함량보다 높지만, 내엽에서는 FNS SCF 처리구 뿐만 아니라 다른 모든 처리구에 비해서도 Cn 처리구의 Ni함량이 높게 나타났다. 이는 생장기간 동안 식물이 이온을 흡수하기 때문에 수확기에 중금속함량이 감소하였고, 토양의 pH가 낮아져 pH에 민감한 Zn, Ni, Cd 등의 중금속의 이동성이 높아진 것으로 판단된다. Kwon (2003)은 토양 중금속의 식물체 흡수에 영향을 주는 인자는 토양 pH, 유기물, 교환성양이온함량, 점토함량, 토성, 수분 등이 있으며, 토양 조건과 폐기물의 종류 및 성상, 중금속의 종류, 농도, 길항 및 상승작용, 작물의 종류 등 복잡한 상호작용에 의한 결과로 나타났다고 하였다.

**토양의 화학적 특성** 수확기 토양의 화학적 특성은 Table 6에서 보는 바와 같다. 생육시험 이후 토양의 화학적 특성은 대체로 생육시험 이전보다 EC, T-N 및 CEC 가 증가하였다.

Mg이온 함량은 CSF 처리구에서 가장 낮게 나타나고, Ca이온 함량은 FNS MGF 처리구에서 가장 낮게 나타났다. SiO<sub>2</sub> 함량은 CSF 처리구에서 가장 높게 나타났으며, 이는 기존 규산질비료의 4년 1주기 공급 특성 때문에 규산함량이 높게 나타난 것으로 판단되었다. 또한 CSF와 FNS SCF 처리구에서 SiO<sub>2</sub> 함량이 증가되어 규산 공급효과를 확인할 수 있었다.

**Table 6.** Changes in soil chemical properties in harvest period.

Treatment <sup>†</sup>	pH	EC	T-N	T-P	SiO <sub>2</sub>	Exch. Cations (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )				
	1:5	dS m <sup>-1</sup>	----- % -----	-----	mg kg <sup>-1</sup>	K	Ca	Mg	Na	CEC
Cn	5.3 <sup>a†</sup>	1.3 <sup>a</sup>	0.29 <sup>a</sup>	0.12 <sup>a</sup>	92.4 <sup>a</sup>	0.7 <sup>a</sup>	2.8 <sup>a</sup>	0.9 <sup>a</sup>	0.5 <sup>a</sup>	12.8 <sup>a</sup>
FNS SCF	5.1 <sup>a</sup>	1.2 <sup>a</sup>	0.29 <sup>a</sup>	0.14 <sup>a</sup>	123.2 <sup>ab</sup>	0.6 <sup>a</sup>	2.9 <sup>a</sup>	0.9 <sup>a</sup>	0.4 <sup>a</sup>	12.5 <sup>a</sup>
CSF	5.0 <sup>a</sup>	1.6 <sup>a</sup>	0.31 <sup>a</sup>	0.13 <sup>a</sup>	185.9 <sup>b</sup>	0.9 <sup>a</sup>	2.8 <sup>a</sup>	0.5 <sup>a</sup>	0.3 <sup>a</sup>	12.2 <sup>a</sup>
FNS MGF	5.0 <sup>a</sup>	1.1 <sup>a</sup>	0.30 <sup>a</sup>	0.16 <sup>a</sup>	92.6 <sup>a</sup>	0.6 <sup>a</sup>	2.2 <sup>a</sup>	1.0 <sup>a</sup>	0.2 <sup>a</sup>	12.1 <sup>a</sup>

<sup>†</sup>Cn, control; FNS SCF, ferronickel slag soil conditioner fertilizer; CSF, conventional silicate fertilizer; FNS MGF, ferronickel magnesium fertilizer.

<sup>‡</sup>Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's Multiple Range Test.

## Conclusions

본 시험은 산업부산물인 페로니켈슬래그의 농업적 재활용을 위하여 페로니켈슬래그 토양개량비료 (FNS SCF)와 페로니켈슬래그 고토비료 (FNS MGF)를 제조하였고, 제조된 비료와 기존의 규산질 비료의 시비에 의한 배추의 생육 특성, 배추의 양분흡수 특성, 토양의 이화학적 특성, 작물비해를 조사하였다. 배추생육특성은 생육기, 수확기 모두 대조구에 비해 모든 처리구에서 생육이 우월하였고, 생육기의 지상부 생체중은 FNS SCF 처리구가 대조구에 비해 73.3% 증가하였다. 수확기의 주중은 CSF 처리구가 Cn 처리구보다 26.0% 증가하였으며, 결구긴도는 대조구보다 FNS SCF 처리구에서 21.1% 더 우월한 것으로 나타났다. 구폭, 구고 또한 Cn 처리구에 비해 FNS SCF 처리구에서 우월하게 나타났다. 배추의 무기성분 및 중금속 함량 특성에서 무기성분 함량은 생육기에 비해 수확기에 배추에서 낮아

지는 현상을 보였으며, 수확기  $\text{SiO}_2$  함량은 내엽보다 외엽에서 높게 나타나고, 외엽과 뿌리의  $\text{SiO}_2$  함량은 유사하게 나타났다. 뿌리에서는 대조구 및 모든 처리구에서  $\text{Na}_2\text{O}$ 가 증가하였다. 식물의 중금속함량에서 대조구나 각 처리구의 비료종류에 따른 어떠한 경향을 보이지는 않았다. 토양의 화학적 특성은 생육시험 전보다 생육시험 후에 EC, T-N 및 CEC가 증가하였고, CSF와 FNS SCF 처리구에서  $\text{SiO}_2$  함량이 증가되어 규산 공급효과를 확인 할 수 있었다. 본 연구 결과 FNS를 이용한 토양개량비료 및 FNS 고토비료는 배추재배에 비해를 보이지 않았으며, 시비효과도 양호하였다. 이상의 결과를 통하여 페로니켈슬래그를 이용하여 제조한 비료의 사용은 토양의 화학적 특성 개선은 물론, 작물수량 증대에 효과가 현저하므로 양질의 토양개량 비료로서 활용이 가능한 것으로 판단된다.

## References

- Choi, S.W., V. Kim, W.S. Jang, and E.Y. Kim. 2007a. The present situation of production and utilization of steel slag in Korea and other countries. *Korean J. Soc. Civil Eng.* 19(6):1-6.
- Choi, S.W., V. Kim, W.S. Chang, and E.Y. Kim. 2007b. The present situation of production and utilization of steel slag in Korea and other countries. *Mag. Korea Concr. Inst.* 19(6):28-33.
- Choi, Y.W., B.S. Cho, S.R. Oh, and M.S. Park. 2014. Evaluation of quality properties of concrete according to mixing proportion of finex water granulated slag find aggregate. *J. Rec. Const. Resour.* 2(2):145-151.
- Chu, Y.S., Y.R. Lim, H.B. Park, H. Song, J.K. Lee, and S.H. Lee. 2010. Extraction of Mg ion and fabrication of Mg compound from ferro-nickel slag. *Korean J. Cera. Soc.* 47(6):613-617.
- Jeong, E.S., B.C. Ban, and S.H. Kang. 2009. A basic study for the manufacture of Mg compound from Fe-Ni slag. *J. Therm. Eng.* 6(1):77-88.
- Joo, J.H. and S.B. Lee. 2011. Assessment of silicate fertilizers application affecting soil properties in paddy field. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(6):1016-1022.
- Kim, E.Y., S.W. Choi, V. Kim, Y. Li, and J.H. Park. 2011. The extraction ability of Mg and Fe components from ferronickel slag depending on their particle size and hydrochloric acid concentration. *Korean J. Soc. Waste Manage.* 28:672-679.
- Kim, E.Y., S.W. Choi, V. Kim, Y. Li, and J.H. Park. 2013. The dissolution of magnesium and iron from ferronickel slag depending on aging condition. *Appl. Chem. Eng.* 24:350-356.
- Kim, J.G., K.B. Lee, S.B. Lee, D.B. Lee, and S.J. Kim. 2000. The effect of long-term application of different organic material sources on chemical properties of upland soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 33(6):416-431.
- Kwon, S.I. 2003. Soil pollution assessment on heavy metals with long-term application of organic wastes. Ph.D. Thesis, University of Seoul. Seoul. Korea.
- Lee, S. H. 2013. A study on the optimized chemical composition of FeNi Slag for Improving nickel recovery, Ph. D. thesis, Suncheon University.
- NIAS. 2000. Methods of soil and crop plant analysis, National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Park, M.S. 2011. The study on quality properties of concrete using water granulated ferro-nickel slag for fine aggregate. Ph.M. Thesis, Semyung University. Jecheon. Korea.