

## Long-term Assessment of Chemical Properties from Paddy Soils in Gyeongnam Province

Daniel Son, Yeon-Kyu Sonn<sup>1</sup>, Seong-Soo Kang<sup>1</sup>, Jae-Young Heo, Dae-Ho Kim, Yong-Jo Choi, Sang-Dae Lee, Yong Sik Ok<sup>2\*\*</sup>, and Young Han Lee\*

*Gyeongsangnam-do Agricultural Research and Extension Services, Jinju 52733, Republic of Korea*

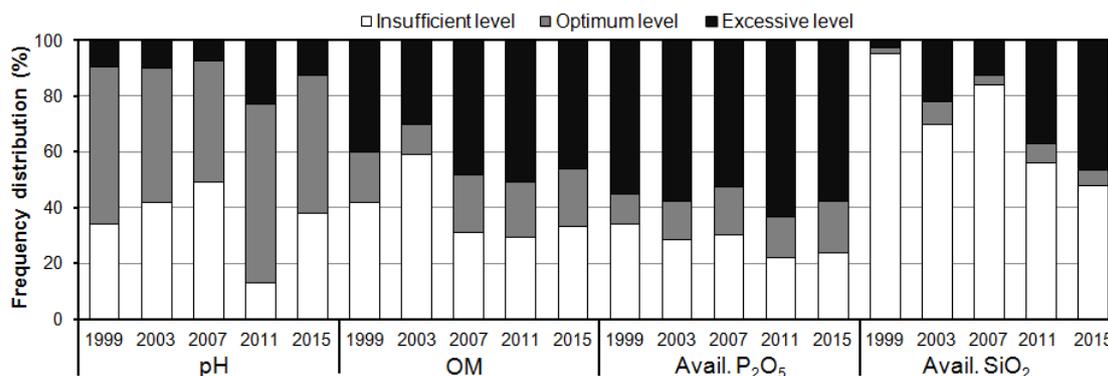
<sup>1</sup>*National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Republic of Korea*

<sup>2</sup>*Biochar Research Center, Department of Biological Environment, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Republic of Korea*

(Received: March 23 2016, Revised: April 25 2016, Accepted: April 26 2016)

Field monitoring was performed to evaluate the chemical properties of 260 paddy soils every 4 years from 1999 to 2015 in Gyeongnam province. Soil chemical properties, including soil pH, electrical conductivity, amount of organic matter (OM), available phosphate ( $P_2O_5$ ), exchangeable potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg) and sodium (Na), and available silicate ( $SiO_2$ ) were analyzed. In 2015, the average values of pH, OM, available  $P_2O_5$ , exchangeable K, Ca, and Mg, and available  $SiO_2$  was 5.8, 30 g  $kg^{-1}$ , 222 mg  $kg^{-1}$ , 0.37 cmol<sub>c</sub>  $kg^{-1}$ , 6.5 cmol<sub>c</sub>  $kg^{-1}$ , and 1.4 cmol<sub>c</sub>  $kg^{-1}$ , 252 mg  $kg^{-1}$ , respectively. The frequency distribution within optimum range of paddy soils was 49.2%, 20.8%, 18.5%, and 5.8% for soil pH, OM, available  $P_2O_5$ , and available  $SiO_2$ , respectively. The available  $P_2O_5$  concentrations in 2015 was excess level with portion of 58% and did not alter significantly during the experimental period. Although the average of available  $SiO_2$  concentration has tended to increase with every year, the insufficient proportion of available  $SiO_2$  concentration in 2015 was 48%. These results indicated that a balanced management of soil chemical properties can properly control the amount of fertilizer applied for sustainable agriculture in paddy field.

**Key words:** Chemical property, Paddy, Soil fertility, Long-term monitoring



Frequency distribution of soil chemical properties in paddy fields of Gyeongnam Province (n=260).

\*Corresponding author: Phone: +82552541313, Fax: +82552541319, E-mail: lyh2011@korea.kr

\*\*Co-corresponding author: Phone: +82332506443, Fax: +82332416640, E-mail: soilok@kangwon.ac.kr

§Acknowledgement: This study was conducted with the support of the Research Cooperating Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ009198242016), RDA, Republic of Korea.

## Introduction

우리나라 국민의 1인당 쌀 소비량은 1995년에 106.5 kg에서 2013년 67.2 kg으로 37%나 감소하는 추세이다. 그리고 전국의 논 경지면적도 2013년 963,876 ha에서 2015년 908,194 ha로 6% 감소하였고 경남지역은 2013년 98,010 ha에서 2015년 89,803 ha로 8% 감소하였다. 실제로 소비자들도 농업환경의 지속적인 보전을 전제로 하여 고품질 쌀을 요구하고 있다. 이러한 측면에서 현장 맞춤형 논토양 양분관리를 위한 토양 조사는 매우 중요하다. 국립농업과학원의 전신인 식물환경연구소에서 1910년에 토양산도를 측정 한 것을 시작으로 1958년부터 6년간 토양 화학성분을 조사하였으나 (Kim et al., 1963) 1964년에 실시한 토양 비옥도사업부터 체계적인 토양검정이 이루어 졌다할 수 있다. 그 이후 1975년에 5개년사업으로 농경지의 토양 화학성분을 조사한 결과를 집계하여 비옥도를 판단하였으며, 농토배양 10주년사업으로 1980년부터 1989년까지 전국의 논토양 616,687점의 토양시료를 분석하였다 (RDA, 1989). 그리고 1990년과 1995년도에 1,168개의 동일한 지점에서 이양 전 3월부터 5월 사이에 표토를 0~15 cm 깊이로 채취하여 분석하였고 (NIAST, 2008), Hur et al. (1997)은 논토양 유형과 지형으로 구분하여 이화학적 특성을 보고하였다. 1998년도에 친환경농업 육성법이 시행됨에 따라 동법 제11조 토양자원 및 농업환경 실태조사에 따라 전국적인 일반농경지 토양 모니터링 사업이 실시되었다. 과거 90년대는 작물의 생산성을 높이기 위해 토양 비옥도를 증진시키고자 하였으나 (Peters, 2000) 환경에 대한 중요성이 대두되면서 농경지 내 인산 등 집적된 양분이 환경으로 유출될 수 있는 가능성을 평가하고 2차 오염을 방지하는 것이 중요하게 되었다 (Cho et al., 2002; Tang et al., 2008).

토양의 특성은 지형에 따라 다르게 발달하고 (Jung and Kim, 1988), 또한, 좁은 지역에서 농경지의 지형은 토양특성의 차이를 나타내는 가장 주요한 요인이므로 농경지 토양 특성을 지형별로 구분하여 파악하는 것이 토지의 적절한 이용을 위해 합리적이다. 우리나라에서 농경지가 분포하고 있는 지형은 하해혼성평탄지, 하성평탄지, 홍적대지, 곡간 및 선상지, 산록경사지, 구릉지, 산악지 및 용암류대지로 구분하며, 농경지 토양을 구성하는 모재와 생성형태가 다를지라도 논은 구릉지와 산악지를 제외한 나머지 지형에 분포하고 있다 (Hyeon et al., 1989).

본 연구는 경남지역 논토양 260개소를 대상으로 1999년부터 2015년까지 4년 주기로 토양 화학성분 분석을 수행하였으며 주성분분석을 통하여 화학성분의 주요 변동요인을 해석하여 효율적인 토양관리를 위한 기초 자료를 제공코자 수행하였다.

## Materials and Methods

**토양 시료채취 방법** 경남지역 논토양은 1999년에 지역별 재배면적과 토양환경을 고려하여 260개소를 선정하여 4년 주기로 동일한 지점을 조사하였다. 토양은 비료를 사용하지 전인 3월부터 4월 사이에 표토를 1 cm정도 걷어내고 0~15 cm 깊이에서 500 g 정도를 3번 반복으로 채취하였다.

**토양 화학성분 분석방법** 채취한 토양시료는 음지에서 7일간 건조하여 고무망치로 입자를 분쇄한 후 2 mm 체를 통과된 것을 화학성분 분석에 사용하였다. 토양의 화학성분은 토양화학 분석법 (NIAS, 2010)을 적용하여 pH와 EC는 토양 10 g에 50 mL 증류수를 가하여 1:5 비율로 희석하고 비이커를 가끔씩 저어주면서 1시간 정치한 후 pH meter (Orion 520A pH meter, Orion Research Inc., Boston, USA)와, EC meter (Orion 3STAR EC meter, Orion Research Inc., Boston, USA)로 분석하였다. 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법으로 비색계 (UV-1650PC, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)를 사용하여 분석하였다. 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘, 나트륨 등의 양이온은 1M NH<sub>4</sub>OAc로 추출하여 ICP (Analyst 300, Perkin-Elmer, Norwalk, USA)로 분석하였고 유효규산은 비색법으로 분석하였다.

**다변량 주성분 분석 및 통계분석** 분석된 토양 화학성은 SAS 프로그램 9.1.3 버전 (2006)을 사용하여 연도별 토양 화학성분은 5% 수준에서 Duncan's multiple range test를 하였고 유형, 지형 및 토성별 토양 화학성분은 5% 수준에서 Tukey's studentized range test를 하였다. 또한, 토양 화학성분의 주성분 분석을 통하여 양분의 변동사항을 분석하였다.

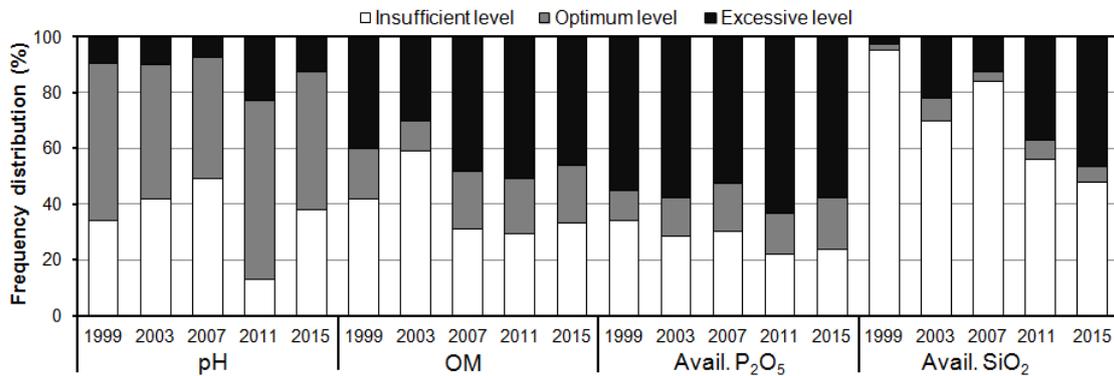
## Results and Discussion

**연도별 논토양 화학성분 변동** 경남지역 논토양의 조사연도에 따른 화학성분 함량 변동은 Table 1과 같다. 논토양의 평균 pH는 1999년과 2003년의 5.7 보다 2007년에 5.6으로 유의적인 감소를 보였다가 2011년에는 6.1로 높아졌으며 2015년에는 5.8로 다시 낮아졌다. 토양의 유기물 평균 함량은 2015년에 30 g kg<sup>-1</sup>으로 2003년 27 g kg<sup>-1</sup>에 비해 유의적인 증가를 보였다. 유효인산 평균 함량은 조사연도별 통계적 유의성이 없었으며, 논토양의 적정수준인 80~120 mg kg<sup>-1</sup>에 비해 62~80% 과잉상태를 나타냈다. 토양의 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘의 평균 함량은 1999년에 0.23, 4.8 및 0.9 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>에서 2003년 0.30, 5.1 및 1.2 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, 2007년 0.41, 6.4 및 1.5 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>으로 유의적인 증가추세를 나타냈다. 2011년 이후에는 조사연도별 유의적인

**Table 1. Chemical properties of paddy soils in Gyeongnam Province.**

Year	pH	OM	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K	Ca	Mg	Avail. SiO <sub>2</sub>
	(1:5)	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	----- Exch. cation (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ) -----			mg kg <sup>-1</sup>
1999	5.7b <sup>†</sup>	29bc	196b	0.23c	4.8b	0.9c	73d
2003	5.7b	27c	216ab	0.30b	5.1b	1.2b	124b
2007	5.6c	30ab	194b	0.41a	6.4a	1.5a	113b
2011	6.1a	31a	235a	0.37a	6.2a	1.4a	192b
2015	5.8b	30ab	222ab	0.37a	6.5a	1.4a	252a
Optimum range	5.5~6.5	25~30	80~120	0.25~0.30	5.0~6.0	1.5~2.0	157~180

<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.



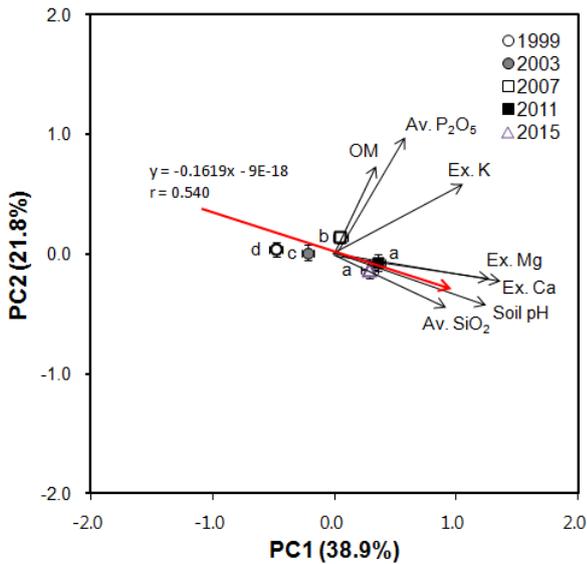
**Fig. 1. Frequency distribution of soil chemical properties in paddy fields of Gyeongnam Province (n=260).**

변화가 없었으며 적정수준에 비해 치환성 칼륨과 칼슘은 10~20%정도 높게, 마그네슘은 약간 낮은 경향을 보였다. 유효규산의 평균 함량은 1999년 73 mg kg<sup>-1</sup>, 2003년 124 mg kg<sup>-1</sup> 그리고 2007년 113 mg kg<sup>-1</sup>에 비해 2011년 192 mg kg<sup>-1</sup>, 2015년 252 mg kg<sup>-1</sup>으로 유의적으로 높은 증가를 보였으며 적정수준인 157~180 mg kg<sup>-1</sup> 보다 높게 나타났다. 이러한 결과는 조사연도별 토양 화학성분 변동을 분석한 국립농업과학원 (NIAS, 2012)의 보고와 유사한 경향으로 나타났다.

우리나라 논토양의 화학성 적정범위를 기준으로 (NIAS, 2010) 부족 (낮음), 적정, 과다 (높음) 비율은 Fig. 1과 같다. 논토양의 pH는 적정범위 대비 낮음이 1999년 33.8%에서 2003년 41.9% 2007년까지 49.2%로 늘어났다. 이후 2011년 13.1%로 급격히 감소하였다가 2015년 다시 38.1%로 증가하였다. 이러한 변화는 규산질 비료의 투입에 의한 현상으로 생각되며, 규산질비료는 가용성규산 25%와 알카리분 40%를 함유하고 있기 때문에 토양 pH를 높이는 효과가 있다고 알려져 있다 (Lee et al., 2005). 유효규산 함량의 부족한 비율은 1999년 95.4%로 조사기간 중 가장 낮았으나, 2007년 83.8% 이후부터 크게 개선되어 2011년 56.2% 및 2015년 47.7%로 크게 개선되는 경향으로 나타났다. 정부에서는 벼에 대한 규산 시용이 광합성 및 병 저항성, 질소이용율을 증가시키고, 벼 수량과 미질개선에 효과가 있기 때문에 (Cho

et al., 2006) 1957년부터 규산질 비료를 공급하여 왔다. 규산질 비료의 공급주기를 1997년 9년 1주기, 1998~1999년 6년 1주기, 2000년 5년 1주기, 2001~2007년에는 4년 1주기, 2008년부터 현재까지는 3년 1주기로 단축하여 공급하여왔다. 이러한 영향으로 논토양에서 유효규산의 적정과 과다의 비율이 계속 증가하였고, 낮은 비율은 감소한 것으로 판단된다. 유효인산의 과다가 2011년 63.5%에서 2015년 57.7%로 줄어든 것은 유기물의 과다가 2011년 50.8%에서 2015년 46.2%로 줄어든 것과 관련이 있는 것으로 판단되는데, 이는 우리나라의 유기물 투입이 동물분뇨가 주재료인 퇴비를 주로 사용하기 때문에 토양 중의 유기물과 인산의 함량이 비슷한 변화의 경향을 보이는 것으로 판단된다.

**논토양 화학성 주성분 분석** 토양의 질을 표현하는 방법으로 Rust et al. (1972)은 작물생산에 있어 질소의 지속적 시용과 환경에 대한 영향을 비교하여 토양의 질 지표 개발이 가능하다고 하였고, Warkentin and Fletcher (1977)는 현대적 의미로서 토양의 질에 대한 개념을 체계적으로 언급하여 여러 가지 측면에서 고려해야 하며, 한 가지 요인으로 평가할 수 없다고 하였다. 최근에는 여러 가지 요인을 몇 가지의 성분으로 추출하여 설명하고 예측할 수 있는 주성분 분석방법을 이용하고 있으나 (Cho et al., 2005; Kim et al., 2014; Kim et al., 2015; Koo et al., 2005), 토양 화학성분



**Fig. 2. Principal components analyses of soil chemical properties from sampling years in paddy field. The variance explained by the each principal component (PC) axis is shown in parentheses. Bars present standard error ( $n = 1,300$ ). Values within a column followed by the same letter are not significantly different at  $\alpha = 0.05$  by Tukey's studentized range test.**

의 모니터링에 이용된 사례는 미흡한 실정이다 (Yoon et al., 2004). 주성분 분석결과는 고유값이 1.0 이상인 주성분은 2개였고 제 1주성분 (PC1)에 속하는 토양 화학성은 기여도가 높은 순으로 치환성 마그네슘, 치환성 칼슘, pH, 치환성 칼륨 및 유효규산 등 5개였으며 제 2주성분 (PC2)에 속하는 토양 화학성은 유효인산 및 유기물 함량 등 2개로서 Lee et al. (2012)이 보고한 결과와 유사한 결과로 나타났다. 토양 화학성분의 특성은 제 1주성분이 38.9%, 제 2주성분이 21.8%로서 전체 60.7%의 자료를 설명할 수 있는 것으로 나타났다. 조사연도별 토양 화학성분은 논토양의 치환성 마그네슘, 치환성 칼슘, pH, 치환성 칼륨 및 유효규산 함량은 1999년도 이후 점차로 증가하다 2015년부터 둔화되거나 (Fig. 2), 오히려 감소하는 경향으로 Lee et al. (2012)이 보고한 과잉문제 발생은 더 관찰되어야 한다고 판단된다. 향후 이와 유사한 토양 모니터링 자료는 주성분 분석을 통하여 간편하게 정보를 요약할 수 있을 것으로 생각된다. 또한, 논토양의 일반적인 화학성분 뿐만 아니라 미량성분 모니터링과 논토양의 지리적 특성을 구분할 수 있는 화학성분들의 분석이 필요할 것으로 판단되었다 (Prakongkep et al., 2008).

**논 경작지 지형 및 토성에 따른 화학성분 비교** 경남지역 논토양의 지형에 따른 토양 화학성은 Table 2와 같다. 논 경작지 지형에 따른 논토양의 화학성분 평균 함량은 특히, 하해혼성평탄지에서 pH 6.8, EC 1.24 dS m<sup>-1</sup>, 치환성 칼륨 0.37 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, 치환성 칼슘 11.2 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, 치

환성 마그네슘 2.0 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> 및 CEC 19.5 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>으로 다른 토양 유형에 비해 높았다. 토양의 pH는 하해혼성평탄지에서 6.8의 값으로 가장 높았으며, 다음으로 해안평탄지가 6.2로 높게 나타났다. 이러한 경향은 바닷물의 영향을 받는 해안주변의 논토양은 염분으로 인하여 토양의 pH가 상승된 것으로 판단된다 (Hur et al., 1997; Lee et al., 2012). 유기물 함량은 다른 유형의 논토양에 비해 하해혼성평탄지가 20 g kg<sup>-1</sup> 낮은 것으로 나타나 Lee et al. (2012)이 보고한 결과와 유사한 경향으로 나타났다. 유효규산 함량은 산록경사지에서 460 mg kg<sup>-1</sup>으로 유의적으로 많았으나, 치환성 칼륨은 지형에 따른 큰 영향이 없는 것으로 나타나, Lee et al. (2012)이 보고한 유효규산 함량이 지형에 영향을 받지 않았다는 결과와 일치하지 않는 것으로 나타났다.

논토양의 토성에 따른 화학성 비교는 Table 3과 같이 pH, EC, 유기물 함량 및 치환성 칼륨 함량에서는 유의성이 나타나지 않았으며, 논토양의 적정 수준이거나 높은 것으로 나타났다. 논토양 토성에서는 특히, 미사질식양토에서 유효인산을 제외한 나머지 조사항목에서 다른 토성에 비해 높은 것으로 나타났으며, 유효인산 함량은 사양토에서 322 mg kg<sup>-1</sup>으로 미사질식양토 및 미사질양토의 133, 200 mg kg<sup>-1</sup>에 비해 유의적으로 높았다. 조사지역의 토성에 따른 화학성 비교에서는 논토양의 적정 수준보다 낮은 항목은 보이지 않았으나, 다소 높은 항목이 나타나므로 과잉의 문제가 발생할 수 있을 것으로 예측되었다.

## Conclusion

경남지역 논토양의 양분관리를 위한 기초자료를 제공하기 위해 260 지점의 화학성분 변동을 1999년부터 2015년까지 4년 주기로 분석하였다. 연도별 논토양의 화학성분 변동에서는 유효인산 평균 함량은 조사연도별 통계적 유의성이 없었으나, 과잉상태를 나타냈다. 유효규산의 평균 함량은 1999년 73 mg kg<sup>-1</sup>부터 2015년 252 mg kg<sup>-1</sup>으로 유의적인 높은 증가로 적정수준보다 높게 나타났다. 지형에 따른 토양 화학성은 하해혼성평탄지에서 pH 6.8, EC 1.24 dS m<sup>-1</sup>, 치환성 칼륨 0.37 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, 치환성 칼슘 11.2 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, 치환성 마그네슘 2.0 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> 및 CEC 19.5 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>으로 다른 토양 유형에 비해 높았다. 토성에 따른 화학성분은 pH, EC, 유기물 함량 및 치환성 칼륨 함량에서는 유의성이 나타나지 않았으나, 미사질식양토에서 유효인산을 제외한 나머지 조사항목에서 다른 토성에 비해 높은 것으로 나타났다. 경남지역은 비교적 경사지의 계단식 무논이 많아 논갈이 작업 시, 장마 또는 폭우 시에 하천으로 토양의 유출이 심하며, 이로 인한 토양 중 인산성분 등의 양분이 과도하게 유입되어, 하천 및 해안의 부영양화를 초래할 수 있어 적절한 퇴비의 사용관리가 필요하다. 또한, 동계 작물재배 시 토

**Table 2. Chemical properties of paddy soils in accordance with the topography in Gyeongnam Province.**

Topography (N. of site)	pH	EC	OM	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K	Ca	Mg	Na	Avail. SiO <sub>2</sub>	CEC
	(1:5)	dS m <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	----- Exch. cation (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ) -----				mg kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>
Mountain foot-slope (9)	6.2bc <sup>†</sup>	0.44b	32a	245ab	0.55a	8.0b	2.1a	0.37c	460a	14.5b
Fan & valley (128)	5.7cd	0.40b	31a	206ab	0.34a	6.5b	1.3b	0.38c	266ab	13.2b
Alluvial plains (14)	5.6d	0.34b	28a	109ab	0.27a	5.9b	1.2b	0.40c	374ab	13.5b
Fluvial plains (92)	5.7cd	0.55b	28a	275a	0.40a	6.0b	1.4b	0.43c	184b	12.6b
Fluvio-marine plains (4)	6.8a	1.24a	20b	55b	0.37a	11.2a	2.0a	1.24a	247b	19.5a
Marine plains (13)	6.3b	1.04a	27ab	151ab	0.41a	7.8b	2.2a	0.97b	331ab	15.0b
Min.	4.7	0.09	10	14	0.07	1.8	0.3	0.24	36	5.8
Max.	7.8	3.43	60	1,577	2.18	25.3	5.2	3.21	1,211	37.3
Mean	5.8	0.49	30	222	0.37	6.5	1.4	0.44	252	13.2
Optimum range	5.5~6.5	-	25~30	80~120	0.25~0.30	5.0~6.0	1.5~2.0	-	157~180	10~15

<sup>†</sup>Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Tukey's studentized range test.

**Table 3. Chemical properties of paddy soils in accordance with the soil textures in Gyeongnam Province.**

Soil texture (N. of site)	pH	EC	OM	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K	Ca	Mg	Na	Avail. SiO <sub>2</sub>	CEC
	(1:5)	dS m <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	----- Exch. cation (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ) -----				mg kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>
Silty clay loam (17)	6.0a <sup>†</sup>	0.69a	29a	133b	0.33a	7.1a	1.7a	0.71a	403a	14.8a
Silt loam (116)	5.9a	0.47a	28a	200b	0.37a	7.2a	1.6a	0.44b	258b	13.9ab
Loam (104)	5.7a	0.47a	31a	238ab	0.36a	5.8ab	1.3b	0.40b	235b	12.6bc
Sandy loam (23)	5.7a	0.61a	31a	322a	0.46a	5.3b	1.1b	0.45b	194b	11.7c

<sup>†</sup>Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Tukey's studentized range test.

양의 양분관리와, 작기 사이에 정확한 시비처방에 의한 세심한 토양관리가 필요하다.

## References

- Cho, I.H., Y.S. Kim, and K.D. Zoh. 2005. A case study on the comparison and assessment between environmental impact assessment and post-environmental investigation using principal component analysis. *Korean J. Env. Hlth.* 31(2):134-146.
- Cho, Y., W. Jeon, C. Park, K. Park, and U. Kang. 2006. Study of nutrient uptake and physiological characteristics of rice by 15N and purified Si fertilization level in a transplanted pot experiment. *Korean J. Crop Sci.* 51(5): 408-419.
- Cho, J.Y., K.W. Han, J.K. Choi, Y.J. Kim, and K.S. Yoon. 2002. N and P losses from a paddy field plot in central Korea. *Soil Sci. Plant Nutr.* 48:301-206.
- Hur, B.K., S.K. Rim, Y.H. Kim, and K.Y. Lee. 1997. Physico-chemical properties on the management groups of paddy soils in Korea. *Korean J. Soc. Soil Sci. Fert.* 30(1): 62-66.
- Hyeon, K.S., C.S. Park, S.J. Jung, and J. Moon. 1989. Physico-chemical properties of soils developed on the different topographies in Korea. *Korean J. Soc. Soil Sci. Fert.* 22:271-279.
- Jung, S.J. and T.S. Kim. 1988. Topographic characteristics, formation and classification of soils developed in limestone. Konkuk University Master's Thesis.
- Kim, M.K., Y.S. Ok, J.Y. Heo, S.L. Choi, S.D. Lee, H.Y. Shin, J.H. Kim, H.R. Kim, and Y.H. Lee. 2014. Analysis of soil microbial communities formed by different upland fields in Gyeongnam Province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 47:100-106.
- Kim, M.K., Y.K. Sonn, H.Y. Weon, J.Y. Heo, J.S. Jeong, Y.J. Choi, S.D. Lee, H.Y. Shin, Y.S. Ok, and Y.H. Lee. 2015. Impacts of soil texture on microbial community of orchard soils in Gyeongnam Province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 48(2):81-86.
- Kim, Y.S., S.C. Seo, and K.H. Han. 1963. Study on soil analysis. Annual research report of Institute of Plant Environment. RDA, Suwon, Korea.

- Koo, J.Y., M.J. Yu, S.G. Kim, M.H. Shim, and A. Koizumi. 2005. Estimation of long-term water demand by principal component and cluster analysis and practical application. *J. KSEE* 27(8):870-876.
- Lee, C.H., M.S. Yang, K.W. Chang, Y.B. Lee, K.Y. Chung, and P.J. Kim. 2005. Reducing nitrogen fertilization level of rice (*Oryza sativa* L.) by silicate application in Korean paddy soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 38(4):194-201.
- Lee, Y.H., Y.K. Sonn, S.T. Lee, J.Y. Heo, M.K. Kim, E.S. Kim, W.D. Song, Y.S. Zhang, W.T. Jeon, and Y.S. Ok. 2012. Topographical chemical properties of paddy soils in Gyeongnam Province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(2):143-148.
- NIAS (National Institute of Agricultural Science). 2010. Fertilization standard of crop. NIAS, Suwon, Korea.
- NIAS (National Institute of Agricultural Sciences). 2010. Method of soil and plant analysis. NIAST, Suwon, Korea.
- NIAS (National Institute of Agricultural Sciences). 2012. Annual report of the monitoring project on agro-environmental quality in 2011. NIAS, Suwon, Korea.
- NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2008. Annual report of the monitoring project on agro-environmental quality in 2007. NIAST, Suwon, Korea.
- Peters, J.B. 2000. Gambian soil fertility trends, 1991-1998. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 31:2201-2210.
- Prakongkep, N., A. Suddhiprakarn, I. Kheoruenromne, M. Smirk, and R.J. Gilkes. 2008. The geochemistry of Thai paddy soils. *Geoderma* 144:310-324.
- RDA. 1989. Report of the improvement of soil for ten years. RDA, Suwon, Korea.
- Rust, R.H., R.S. Adams, and W.P. Martin. 1972. Developing a soil quality index. *Indic. J. Environ. Qual.* 1:243-247.
- SAS Institute. 2006. SAS Version 9.1.3. SAS Inst., Cary, NC.
- Tang, J., B. Zhang, C. Gao, and H. Zepp. 2008. Hydrological pathway and source area of nutrient losses identified by a multi-scale monitoring in an agricultural catchment. *Catena* 72:374-385.
- Warkentin, B.P. and H.F. Fletcher. 1977. Soil quality for intensive agriculture. p. 594-598. *In* Proceedings of international seminar on soil environment and fertilizer management in intensive agriculture. Soc. Sci. Soil and Manure and Natl. Inst. Of Agric. Sci., Tokyo, Japan.
- Yoon, J.H., B.G. Jung, H.J. Jun, and H.K. Kwak. 2004. Soil quality assessment method of paddy and upland. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37(6):357-364.