

# Status and Changes in Chemical Properties of Paddy Soil in Gangwon Province

Byeong-Sung Yoon\*, Seung-Chul Choi, Soo-Jeoung Lim, Su-Jeong Heo, In-Jong Kim, and Seong-Soo Kang<sup>1</sup>

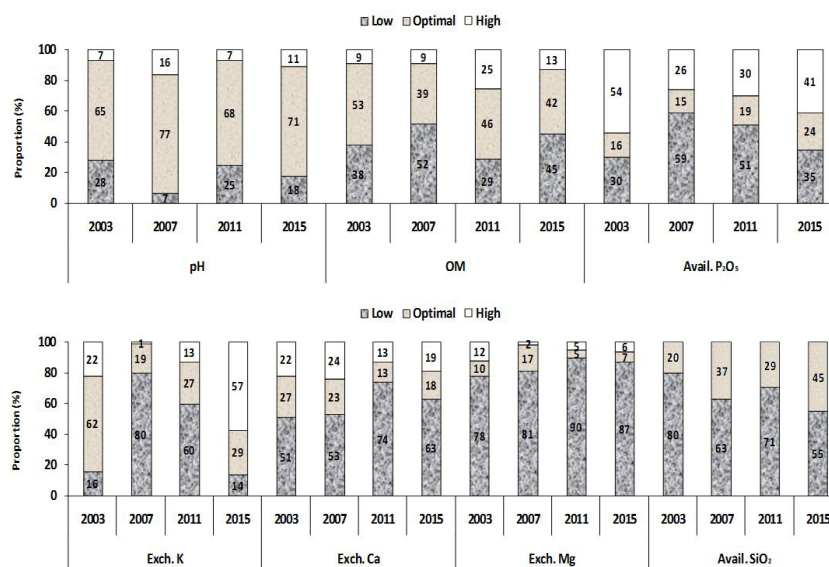
Gangwondo Agricultural Research & Extension Services, Chuncheon 24226, Korea

<sup>1</sup>Division of R&D Coordination, RDA, Jeonju 54875, Korea

(Received: July 26 2016, Revised: August 3 2016, Accepted: August 3 2016)

The chemical properties of paddy fields in Gangwon province were monitored every 4 years from 2003 to 2015 in order to provide basic information for soil fertility management of paddy fields. In 2015, the soil chemical properties of paddy fields were 5.9 in pH, 22 g kg<sup>-1</sup> in organic matter (OM), and 123 mg kg<sup>-1</sup> in available (Avail.) phosphate P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Exchangeable (Exch.) potassium (K), calcium (Ca) and magnesium (Mg) were 0.39, 4.8 and 0.9 cmolc kg<sup>-1</sup>, respectively, and Avail. SiO<sub>2</sub> was 170 mg kg<sup>-1</sup>. In the long-term analysis, the contents of Avail. SiO<sub>2</sub>, Exch. K and pH of paddy soils showed increasing tendency. However, Avail. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Exch. Ca and Mg tended to decrease, and there were no significant changes in the contents of OM. Soil OM, Avail. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and SiO<sub>2</sub> were not different among the different topographical sampling sites. However, the mean value of Exch. K and Ca were different among the different topographical sampling sites, and exceeded optimal values in the fluvio-marine plains. Different soil texture resulted in different soil pH, while no difference for OM, Avail. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and SiO<sub>2</sub>. Paddy soil samples within appropriate pH range increased from 65% in 2003 to 77% in 2007, 68% in 2011, and 71% in 2015. In case of Avail. SiO<sub>2</sub>, soil samples within appropriate range increased from 20% in 2003, to 37% in 2007, 29% in 2011, and 45% in 2015. Meanwhile, Cd and Pb were distributed to less than 5% of soil pollution standards. Cu, As and Zn were distributed to less than 10%, 15% and 20%, respectively. Therefore, paddy soil in Gangwon Province was judged to be safe. As a result, paddy fields with more or less in nutrient level need to be fertilized based on the soil analysis. And the application of silicate fertilizer is strongly recommended to those of paddy fields in need. In addition, soil management including the cultivation of green manure crop or application of rice straw is necessary to increase the organic matter content of paddy soil.

**Key words:** Paddy soil, Chemical property, Heavy metal, Gangwon



The Frequency distribution of excess, optimal and deficient ranges of chemical properties of paddy soils in Gangwon Province ( $n = 150$ ).

\*Corresponding author: Phone: +82332486092, Fax: +82332486100, E-mail: 65yoon@korea.kr

§Acknowledgement: This study was carried out with the support of “cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ009198092016)” Rural Development Administration, Republic of Korea.

## Introduction

우리나라 소비자들은 농산물의 안전성을 최우선적으로 요구하고 있으며, 지속적인 안전농산물 생산을 위한 친환경 농업은 더욱 중요시되고 있다. 따라서 국가적인 농토양 관리 대책을 세우기 위해서 주기적으로 전국적인 규모의 토양 비옥도 조사가 필요하며, 농경지 화학성 변동조사 사업은 농경지에 대한 생산성 변동을 파악하여 식량안보 및 농업환경을 균형 있게 유지 하는데 중요한 역할을 하고 있다. 1958년부터 1963년에 걸쳐 전국 토양개량조합과 시군농촌지도소가 토양을 채취하고 식물환경연구소에서 분석을 한 것이 우리나라 농경지에 대한 토양 비옥도 조사의 시작으로 볼 수 있다 (Kim et al., 1963). 1964년부터 1968년까지 토양비옥도 사업이 실시되었고, 1980년부터 1989년까지 농토배양 10개년 사업에 따라 토양조사사업이 추진되었다 (RDA, 1989). Jung et al. (1998)은 우리나라 농토양 비옥도 변동을 5년 주기로 파악하기 위하여 1990년과 1995년에 1,168개 동일한 지점을 대상으로 이양 전 3월부터 5월 사이에 표토를 0~15 cm 깊이로 채취하여 토양화학성을 조사 분석하여 보고하였다. 이후 1998년도에는 친환경농업 육성법이 시행되어 동법 제11조 토양자원 및 농업환경 실태조사가 추진됨에 따라 1999년부터 농촌진흥청과 각 도의 농업기술원이 참여하는 전국적인 규모의 농업환경변동조사가 수행되어 오고 있다. Kim et al. (2010)은 2007년까지의 농업환경변동조사에 따른 농토양 화학성과 토양 질 지표의 변동을 보고하였다. Ahn et al. (2012)은 전북지역 농토양 화학성 변화를 지역특성에 따라 분석하여 보고한 바 있고, 경남지역의 농토양 지형과 화학성의 관계 (Lee et al., 2012a), 농토양의 중금속 함량조사 결과 (Lee et al., 2012b)가 보고된바 있다. Kang et al. (2012)은 2011년 우리나라 농토양 2,070 지점의 평균 화학성을 분석하여 pH 5.9, 유기물 26 g kg<sup>-1</sup>, 유효인산 131 mg kg<sup>-1</sup>, 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘은 각각 0.30, 5.1, 1.25 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, 유효규산 146 mg kg<sup>-1</sup>으로 보고하였다. Roh et al. (2015)은 2015년 경기지역 농토양 240 지점의 평균 화학성을 분석하여 pH 5.9, 유기물 23 g kg<sup>-1</sup>, 유효인산 84 mg kg<sup>-1</sup>, 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘은 각각 0.30, 5.1, 1.3 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, 유효규산 129 mg kg<sup>-1</sup>으로 보고하였다.

본 연구의 목적은 강원지역 농토양 150 지점을 대상으로 지형 및 토성을 고려하여 토양 화학성의 변동을 주기적으로 파악하고, 과학적이고 합리적인 토양 개량과 시비체계 개선 및 농업환경 보전을 위하여 2003년부터 2015년까지 4년 주기로 토양 화학성을 조사, 분석하여 토양 비옥도의 현황과 변동을 평가하고자 하였다.

## Materials and Methods

강원지역 농토양의 화학성 변동을 주기적으로 조사하기 위하여 1999년에 시군별로 지형 및 토성 분포면적 비율을 고려하여 247 지점을 선정하였으나, 그 후 2003년부터 강원도 내 16개 시군에서 총 150지점으로 변경되어 2015년까지 4년 주기로 동일한 지점을 조사하였다. 채취 지역을 지형별로는 곡간 및 선상지 (77지점), 하성평탄지 (37지점), 하해헌성평탄지 (11지점), 홍적대지 (4지점)로, 토성별로는 사양토 (73지점), 양토 (45지점), 미사질양토 (8지점), 미사질식양토 (3지점)이었다. 흙토포 상 토양정보가 없는 21 지점은 지형별 토성별 분석에서는 제외하였다. 토양시료는 비 이양 전인 3월말부터 4월 사이에 지점 당 5곳의 표토 0~15 cm 깊이에서 토양시료 채취기를 이용하여 채취하였다. 채취한 토양은 그늘에서 5~7일간 풍건하여 고무망치로 입자를 분리시킨 후 2 mm 체를 통과시켜 조제하였다. 토양 화학성 분석은 농촌진흥청 토양화학 분석법 (NAAS, 2010a)에 따라 pH는 토양과 증류수의 비율을 1:5 (w/w)로 희석하여 진탕한 후 pH meter (Orion 3 Star, Thermo Scientific)로 측정하였고, 유기물 함량은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, 치환성양이온은 1.0 M NH<sub>4</sub>OAc (pH 7.0)로 침출하여 ICP (Integra Dual, GBC)로 분석하였다. 유효규산은 1.0 M NaOAc (pH 4.0)로 침출하여 분광광도계 (Uvikon X5, Secoman)를 이용하여 정량하였다. 조사된 농토양 화학성 평균의 연차간 변화를 분석하였고, 2013년 제2차 농업환경자원 변동평가 워크숍 (RDA, 2013)에서 제안한 토지 이용별 토양화학성 적정범위 변경안에 따라 농토양 화학성 적정범위를 기준으로 부족, 적정, 과다비율을 구하여 연차별 변화를 비교하였다. 변경된 농 토양화학성 적정범위는 기존의 작물별시비처방기준 (NAAS, 2010b)의 유기물 25~30 g kg<sup>-1</sup>, 치환성 칼륨 0.25~0.30 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, 유효규산 157~180 mg kg<sup>-1</sup>에서 유기물 20~30 g kg<sup>-1</sup>, 치환성 칼륨 0.20~0.30 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, 유효규산 157 mg kg<sup>-1</sup> 이상으로 하였다 (RDA, 2013). 중금속 분석은 토양오염공정시험기준 (ME, 2009)에 따라 중금속 6종 As, Cd, Cr, Ni, Pb, Zn, Cu는 ICP (Integra Dual, GBC), Hg는 수은분석기 (DMA-80, Milestone)로 측정하였다. 분석한 토양특성의 통계적인 분석은 SPSS (19.0K)를 사용하여 Duncan 검정을 실시하였다.

## Results and Discussion

**농토양 화학성 변화** 2003년부터 2015년까지 4년 1주기로 조사한 강원도의 농토양 화학성의 평균과 범위, 분포비율은 Table 1, 2와 같다. 2015년의 농토양 pH는 5.9 (5.1~7.9), 유기물 함량은 26 (8~56) g kg<sup>-1</sup>, 유효인산 함량은 123 (10~624) mg kg<sup>-1</sup>, 치환성칼륨, 칼슘, 마그네슘은 각각 0.39 (0.05~1.07), 4.8 (1.8~12.3), 0.9 (0.3~4.4) cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>이었으

며, 유효규산 함량은 170 (30~631) mg kg<sup>-1</sup>이었다. pH는 2003년 5.8에서 2007년 6.1, 2011년 5.8, 2015년 5.9로 변동하였고, 유기물 함량은 2003년 21 g kg<sup>-1</sup>에서 2015년 22 g kg<sup>-1</sup>으로 다소 증가하였으며 적정범위 수준이었다. 그러나 유효인산 (Avail. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)은 2003년 144에서 2015년 123 mg kg<sup>-1</sup>으로 감소하였고, 치환성 칼륨은 2003년 0.27에서 2007년 0.39 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> 수준으로 증가하였다. 치환성 칼슘은 2003년 5.0에서 2015년 4.8 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>으로 감소하였고, 치환성 마그네슘은 2003년 1.1에서 2015년 0.9 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>으로 감소하였다. 유효 규산 (Avail. SiO<sub>2</sub>)은 2013년 121에서 2015년 170 mg kg<sup>-1</sup>까지 지속적으로 증가하여 적정범위이었다. 2015년 토양화학성 현황을 보면 pH, 유기물, 유효규산은 적정범위 이내에 있었으나 지점 간 편차가 컸다 (Table 1). 특히 유효규산 분포범위는

30~631 mg kg<sup>-1</sup> 수준으로 조사 지점 간 편차가 크게 나타났으며 전북 논토양에 대하여 조사한 Ahn et al. (2012)의 결과와 유사한 경향이였다. 이에 대한 해결책으로 Ahn et al. (2012)은 친환경농업을 실천하는 농기들이 정부에서 공급하는 규산 질비료의 생산과정에 대한 오해로 사용을 기피하는 경향이 있기 때문에 규산효과와 토양환경에 미치는 영향 등에 대한 새로운 영농지도가 필요하다고 하였다. 치환성칼슘, 치환성마그네슘은 적정 범위에 미달하였으나, 치환성칼륨과 유효인산은 적정범위 상한기준을 초과하였다.

강원지역 논토양의 지형에 따른 토양화학성은 Table 3에서 보는 바와 같다. 토양 pH의 지형별 평균은 5.5~6.3이었고, 유기물 함량은 지형에 따라 통계적인 차이가 없었지만 20~22 g kg<sup>-1</sup> 수준으로 적정범위 (20~30 g kg<sup>-1</sup>)에 속하였

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

Year	pH	OM	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exch. cations				Avail. SiO <sub>2</sub>
				K	Ca	Mg	Na	
	(1:5)	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>				mg kg <sup>-1</sup>
2003	5.8	21	144	0.27	5.0	1.1	0.14	121
(range)	(4.1~7.6)	(5~43)	(14~509)	(0.05~0.95)	(1.9~13.1)	(0.2~3.2)	(0.05~0.38)	(23~580)
2007	6.1	20	105	0.15	5.1	1.1	0.55	152
	(5.2~7.8)	(1~55)	(5~493)	(0.05~0.61)	(1.9~14.2)	(0.3~3.8)	(0.16~1.71)	(29~476)
2011	5.8	25	104	0.19	4.4	0.8	0.27	134
	(4.9~7.2)	(5~68)	(6~482)	(0.03~0.68)	(1.2~12.9)	(0.2~5.0)	(0.02~0.38)	(20~439)
2015	5.9	22	123	0.39	4.8	0.9	0.21	170
	(5.1~7.9)	(8~56)	(10~624)	(0.05~1.07)	(1.8~12.3)	(0.3~4.4)	(0.09~0.77)	(30~631)
2015 (Korea) <sup>†</sup>	5.9	26	140	0.30	5.5	1.2	0.28	181
	(4.3~8.4)	(2~124)	(4~1577)	(0.05~2.18)	(0.7~25.9)	(0.1~10.8)	(0~6.62)	(14~1,246)
Optimum range	5.5~6.5	20~30	80~120	0.20~0.3	5.0~6.0	1.5~2.0	-	≥157

<sup>†</sup>Except Jeju province.

**Table 2. Distribution percentage of chemical properties for paddy soils in Gangwon Province in 2015.**

Chemical properties	Distribution percentage							Optimum range
	≤ 5.0	5.1~5.4	<b>5.5~6.0</b>	<b>6.1~6.5</b>	6.6~7.0	7.1~7.5	7.6 <	
pH	0	18	<b>53</b>	<b>16</b>	5	4	4	5.5~6.5
(1:5)								
OM	8	37	<b>42</b>	11	1	1	0	20~30
(g kg <sup>-1</sup> )								
Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	13	23	<b>24</b>	17	9	5	9	80~120
(mg kg <sup>-1</sup> )								
Exch. K	7	7	<b>29</b>	16	31	9	1	0.20~0.3
(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )								
Exch. Ca	15	25	23	<b>18</b>	13	3	3	5.0~6.0
(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )								
Exch. Mg	23	51	14	<b>7</b>	2	1	2	1.5~2.0
(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )								
Avail. SiO <sub>2</sub>	6	29	20	<b>13</b>	<b>20</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	157~
(mg kg <sup>-1</sup> )								

다. 그러나 전북지역의 22~25 g kg<sup>-1</sup> 수준 (Ahn et al., 2012), 경남지역의 하해혼성평탄지와 해안평탄지 22~23 g kg<sup>-1</sup> 수준 (Lee et al., 2012)보다 낮았다. 전북지역의 유효인

산은 홍적대지에서 적정수준보다 높았고 (224 mg kg<sup>-1</sup>) 나머지 지역에서는 대체로 적정 수준을 보였으나, 강원지역에서는 곡간 및 선상지에서 141 mg kg<sup>-1</sup>로 적정수준보다 높았고,

**Table 3. Selected soil chemical properties of paddy fields in different topographical areas.**

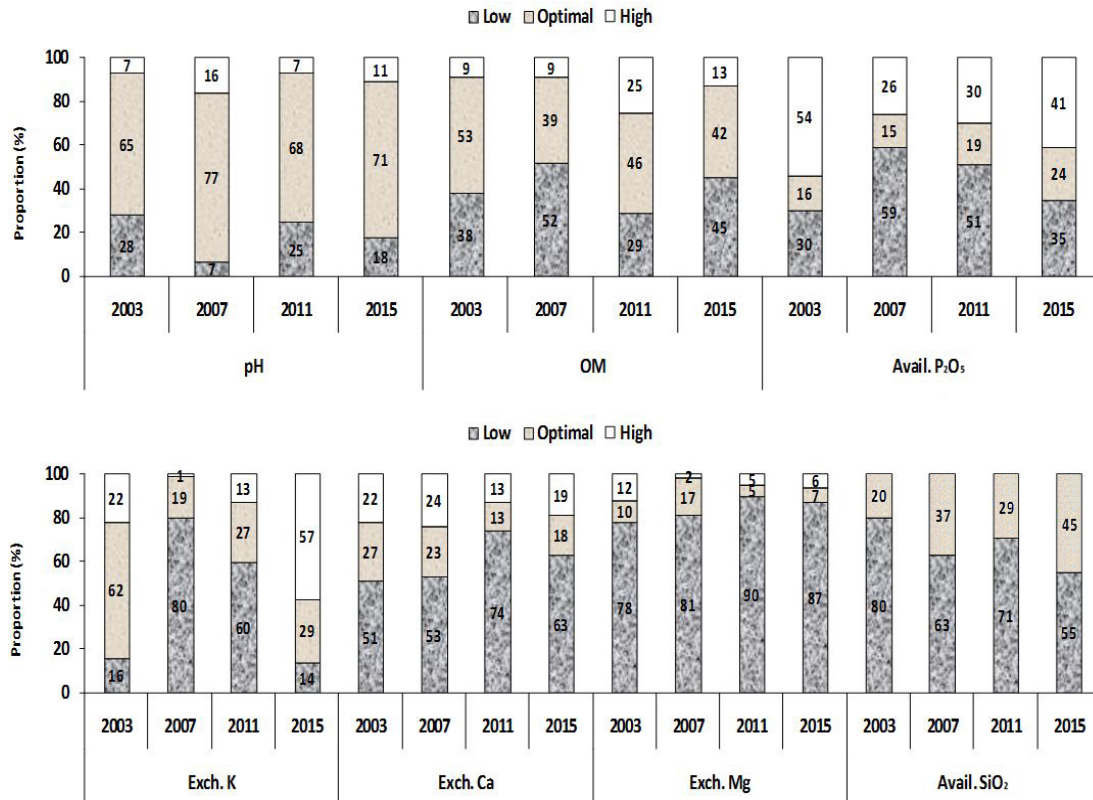
Topography	pH	OM	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exch. cation				Avail. SiO <sub>2</sub>
				K	Ca	Mg	Na	
	(1:5)	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>				mg kg <sup>-1</sup>
Local valley & fans (77) <sup>†</sup>	6.0ab <sup>†</sup>	22a	141a	0.40b	4.94b	1.01ab	0.20b	177a
Alluvial plains (37)	5.7b	20a	113a	0.34b	4.10b	0.76ab	0.18b	141a
Fluvio-marine plains (11)	6.3a	21a	96a	0.57a	6.59a	1.37a	0.37a	173a
Diluvial terrace (4)	5.5b	21a	126a	0.35b	3.36b	0.58b	0.20b	119a

<sup>†</sup>Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different (Duncan test, *p* < 0.05).

**Table 4. Selected soil chemical properties of paddy fields in different soil texture.**

Soil texture	pH	OM	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exch. cation				Avail. SiO <sub>2</sub>
				K	Ca	Mg	Na	
	(1:5)	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>				mg kg <sup>-1</sup>
Silt clay loam (3)	5.4c <sup>†</sup>	20a	109a	0.22b	3.20b	0.48b	0.17b	128a
Silt loam (8)	6.8a	24a	74a	0.52a	6.08a	1.73a	0.32a	168a
Sandy loam (73)	5.8bc	20a	131a	0.38ab	4.56ab	0.84b	0.20b	150a
Loam (45)	6.0b	23a	136a	0.410a	5.06ab	1.05b	0.21b	190a

<sup>†</sup>Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different (Duncan test, *p* < 0.05).



**Fig. 1. Excess, deficient and optimal range of chemical properties of paddy soils in Gangwon Province (n = 150).**

하해혼성평탄지에서 96 mg kg<sup>-1</sup>이었으나 지형에 따른 통계적인 차이는 보이지 않았다. 치환성 양이온은 하해혼성평탄지에서 모두 높았으며 특히 K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>은 하해혼성평탄지에서 0.57, 6.59, 0.37 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>로 통계적인 유의차가 있었다. 이는 경기도 논토양 화학성에 대하여 조사한 Roh et al. (2015)의 결과와 같았다. 유효규산은 지형 간에 유의차가 없어 지형적인 영향을 받지 않는 것으로 보인다.

강원지역 논토양의 토성에 따른 토양화학성은 Table 4와 같다. 토양 pH는 미사질식양토 5.4, 미사질양토 6.8로 토성별로 유의성이 있었으나, 유기물, 유효인산, 유효규산은 통계적인 유의차가 없었다.

**논토양 화학성 분포율** 논토양의 화학성 적정범위를 기준으로 (RDA, 2013) 2003년부터 2015년까지의 강원지역 화학성 적정범위의 부족/낮음, 적정, 과다/높음 비율은 Fig. 1과 같다. pH의 적정범위 (5.5~6.5) 비율은 2003년 65%에서 2015년 71%로 증가하였으며 적정범위보다 높음의 비율도 조금 증가하였다. 이러한 결과는 경기지역에서 조사와 비슷한 경향을 보였으며 (Roh et al., 2015), 1996년부터 정부가 공급한 규산질 비료에 따라 부성분인 칼슘성분과 알카리분이 투입되어 pH가 증가한 것으로 판단된다 (Kim and Choi, 2002; Lee et al., 2005; Song et al., 2007). 토양유기물의 적정범위 비율은 2003년에 59%에서 2015년 42%로 17% 감소되었고, 적정범위보다 높음의 비율은 9%에서 13%로 증가되었으며, 적정범위보다 낮음의 비율은 2003년 38%에서 2015년 45%로 증가되었다. 이는 적정 비율은 증가하고 낮음 비율은 감소한 경기지역 결과와 다른 양상을 보였다 (Roh et al., 2015). 기존의 논토양 유기물 적정범위는 25~30 g kg<sup>-1</sup>에서

20~30 g kg<sup>-1</sup>로 확대되었음에도 여전히 2015년 논토양의 45%가 적정범위 미만을 차지하고 있어 논토양의 유기물 증가를 위한 토양관리와 공급대책이 필요하다고 판단된다. Jeong et al. (2001)은 논토양에서 유기물을 장기 연용했을 때 비의 질소흡수량을 증가시켜 수량이 증대되고 토양물리성이 개선되었다고 보고하였다. 수확 후 볏짚을 환원시키거나 퇴비를 사용하지 않은 현행 시비방법은 생산성과 품질이 낮아지는 원인으로 대두되고 있다. 따라서 녹비작물 종자 지원사업이나 호밀과 청보리 같은 동절기 녹비작물 재배면적 확대가 논토양의 유기물 함량 증가에 크게 기여할 것으로 판단된다.

유효인산 함량의 적정범위 비율은 2003년 16%, 2007년 15%, 2011년 19%, 2015년 24%로 증가되었다. 또한 2003년과 비교해 적정범위보다 높음은 감소하였고, 적정범위보다 낮음은 증가하였다. 이는 강원지역 논토양에 대한 인산비료 또는 가축분뇨 퇴비의 사용이 개선되고 있음을 나타내는 것으로 판단되었다.

치환성 칼륨 함량의 적정범위 비율은 2003년에 62%에서 2015년 29%로 감소하였다. 적정범위보다 높음은 2003년에 22%에서 2015년 57%로 증가 경향을 나타냈으며, 적정범위보다 낮음은 2003년에 16%에서 2015년 14%로 비슷한 경향을 보였다. 이러한 결과는 Kang et al. (2012)이 보고한 1999년부터 2011년까지 전국 논토양 치환성 칼륨 분포율과 Roh et al. (2015)이 보고한 2015년 경기지역 조사와는 상반된 경향을 보였다. Roh et al. (2015)이 논토양에 투입되는 칼륨비료 원인 퇴비나 볏짚의 사용이 감소하고 화학비료 시비에 따른 칼륨의 유출이 증가하여 치환성 칼륨 함량이 감소된 것으로 판단된다고 하였는데 강원지역에서 상반된 경향을 보인 점에 대해서는 검토가 필요하다.

**Table 5. Heavy metal contents of paddy field soils in different topographical areas in 2015.**

Soil texture		Cd	Cr <sup>†</sup>	Pb	Cu	Ni	Zn	As
		mg kg <sup>-1</sup>						
Local valley & fans (77)	Min	0.00	9.32	2.9	2.6	3.8	2.9	0.02
	Max	0.50	104.89	21.7	41.6	82.0	87.1	20.30
	Mean	0.16b <sup>‡</sup>	27.63a	8.5ab	13.9a	14.9a	59.8a	3.10a
Alluvial plains (37)	Min	0.04	11.09	2.1	5.03	4.3	36.8	0.19
	Max	0.92	54.26	26.6	46.0	28.2	109.5	17.84
	Mean	0.23ab	24.80a	10.4ab	15.2a	14.7a	60.3a	4.74a
Fluvio-marine plains (11)	Min	0.12	11.1	1.4	2.7	5.0	45.7	1.12
	Max	1.55	65.92	10.6	27.9	35.8	73.9	17.5
	Mean	0.36a	34.18a	6.7b	13.4a	16.7a	56.8a	4.73a
Diluvial terrace (4)	Min	0.08	8.9	9.11	8.1	5.3	39.9	2.00
	Max	0.29	41.1	12.15	22.0	24.6	67.8	9.41
	Mean	0.20b	31.88a	10.9a	16.2a	19.1a	60.7a	6.62a
Critical level <sup>§</sup>		4	-	200	150	100	300	25

<sup>†</sup>Total chromium.

<sup>‡</sup>Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different (Duncan test, *p* < 0.05).

<sup>§</sup>Based on soil pollution concerns of Soil Environment Conservation Act (Ministry of Environment, 2010).

치환성 마그네슘 함량의 적정비율은 2003년에 10%에서 2015년 7%로, 적정범위보다 높음은 2003년 12%에서 2015년 6%로, 부족 비율은 1999년에 78%에서 2015년 87%로 변화하였다. 이러한 결과는 Kang et al. (2012)이 보고한 1999년부터 2011년까지 전국 논토양 치환성 마그네슘 분포율과 Roh et al. (2015)이 보고한 2015년 경기지역 조사와 같은 경향을 보였다.

유효규산의 경우에도 과거의 기준인 157~180 mg kg<sup>-1</sup>이 아닌 변경된 기준 157 mg kg<sup>-1</sup> 이상으로 적용하여 비율을 구하여 비교한 결과 (RDA, 2013). 적정범위의 비율은 1999년 20%에서 지속적으로 증가하여 2015년 45%를 나타냈으며, 유효규산 평균 함량도 170 mg kg<sup>-1</sup>으로 증가하는 추세였다.

벼에 대하여 규산은 광합성, 병해 저항성, 질소이용율 및 수량의 증가와 미질의 개선 효과가 있다. 따라서 정부에서는 1957년부터 규산질 비료 공급사업을 추진해오고 있다 (Kim et al., 2011). 그동안 규산질 비료의 공급주기는 1997년 9년 1주기, 1998~1999년 6년 1주기, 2001년 4년 1주기, 2008년부터 3년 1주기로 계속해서 단축하여 공급하였다. 또한 벼 수량 반응과 규산질비료의 토양 잔효를 평가 검토하여 유효규산의 적정함량과 규산질비료의 사용량을 높게 조정하였다 (Song et al., 2007). 이러한 결과로 논의 유효규산이 증가하였고, 낮음의 비율은 감소한 것으로 판단된다. 그러나 낮음의 비율이 감소하였음에도 불구하고 2015년 치환성칼슘과 마그네슘, 유효규산의 낮음 비율은 각각 63%, 87%, 55%로 여전히 높은 수준을 보여 지속적인 관리가 필요한 것으로 판단되었다.

강원지역 논토양의 화학성은 유효규산, 치환성 칼륨 함량은 증가하는 경향을 나타냈으며, 유효인산과 치환성 칼슘 함

량은 감소하는 경향을 나타냈고 유기물과 치환성 마그네슘 함량은 큰 경향성 없이 변화하였다. 따라서 양분 과부족 논토양에 대해서는 토양검정에 의한 적정시비를 하고, 규산질비료나 석회는 부족한 토양에 공급하고 토양 유기물 증대를 위해서는 녹비작물 재배와 볏짚 사용 등 토양관리가 필요할 것으로 판단된다.

**중금속 함량** 지형별로 조사한 강원지역 논토양 중금속 함량은 Table 5와 같다. As, Ni, Cu, Zn, Cr은 지형간의 차이가 없이 통계적으로 같은 수준을 보였고, Cd은 하해혼성평탄지에서 Pb은 홍적대지에서 중금속 함량이 높은 경향을 보였다. 토성별 강원지역의 논토양 중금속 함량은 Table 6과 같다. Ni, Cu, Pb, Zn, Cr은 토성간의 차이가 없어 통계적으로 같은 수준을 보였으나, Cd과 As는 미사질양토에서 높은 경향을 보였다. 그러나, 토양환경보전법상 (ME, 2010)의 토양오염우려기준에 대한 비율 (평균값 / 우려기준 × 100)은 아연 (19.9%) > 비소 (15.3%) > 구리 (9.5%) > 카드뮴 (4.9%) > 납 (4.5%)으로 기준보다 훨씬 낮은 수준이어서 광산 인근이 아닌 강원지역의 일반적인 논토양은 중금속에 대하여 매우 안전하다고 할 수 있다.

## Conclusion

강원지역 논토양의 양분관리를 위한 기초자료를 제공하기 위하여 150 지점의 토양화학성을 2003년부터 2015년까지 4년 주기로 조사 분석하였다. 2015년 논토양의 평균 화학성은 토양 pH 5.9, 유기물 함량 22 g kg<sup>-1</sup>, 유효인산 함량 123 mg kg<sup>-1</sup>을 나타냈다. 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘 함량은 각각

**Table 6. Heavy metal contents of paddy field soils in different soil texture in 2015.**

Soil texture		Cd	Cr <sup>†</sup>	Pb	Cu	Ni	Zn	As
		mg kg <sup>-1</sup>						
Silt clay loam (3)	Min	0.08	8.98	9.1	8.1	5.3	39.9	2.00
	Max	0.29	40.08	12.1	22.0	24.6	67.8	7.90
	Mean	0.17b <sup>‡</sup>	28.80	10.6a	16.7a	17.8a	58.3a	5.68ab
Silt loam (8)	Min	0.05	11.16	8.1	7.1	6.1	47.0	2.20
	Max	1.55	46.51	21.7	28.3	35.8	73.9	17.50
	Mean	0.45a	31.19a	12.4a	18.1a	20.2a	59.1a	7.80a
Sandy loam (73)	Min	0.00	9.32	1.41	2.6	3.8	36.8	0.10
	Max	0.92	80.31	26.61	46.0	37.0	109.5	20.30
	Mean	0.20b	28.50a	9.0a	14.8a	15.3a	60.4a	3.94ab
Loam (45)	Min	0.00	9.58	2.09	4.8	3.99	35.2	0.02
	Max	0.50	104.89	21.19	36.5	82.03	87.1	8.85
	Mean	0.15b	25.16b	9.0a	12.6a	13.8a	58.8a	2.78b
Critical level <sup>§</sup>		4	-	200	150	100	300	25

<sup>†</sup>Total chromium.

<sup>‡</sup>Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different (Duncan test,  $p < 0.05$ ).

<sup>§</sup>Based on soil pollution concerns of Soil Environment Conservation Act (Ministry of Environment, 2010).

0.39, 4.8, 0.9 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>이었고, 유효규산 함량은 170 mg kg<sup>-1</sup>이었다. pH의 적정범위 비율은 2003년 65%, 2007년 77%, 2011년 68%, 2015년 71%로 증가하였으며 치환성 칼륨의 적정범위 비율은 2003년 62%, 2007년 19%, 2011년 27%, 2015년 29%로 변하는 경향을 보였다. 유효규산의 적정범위 비율은 2003년 20%, 2007년 37%, 2011년 29%, 2015년 45%로 증가하였다. 2015년 논토양의 부족비율 성분별 순서는 치환성 Mg (87%) > 치환성 Ca (63%) > 유효규산 (55%) > 유기물 (45%) > 유효인산 (35%) > pH (18%) > 치환성 K (14%)이었다. 한편 과다비율은 치환성 K (57%) > 유효인산 (41%) > 치환성 Ca (19%) > 유기물 (13%) > pH (11%) > 치환성 Mg (6%)이었다.

따라서 양분 과부족 논토양에 대해서는 토양검정에 의한 적정시비량을 시비하고, 규산질비료나 석회는 부족한 토양에 공급하고 토양 유기물 증대를 위해서는 녹비작물 재배와 볏짚 사용 등 토양관리가 필요할 것으로 판단된다. 한편, 논토양의 Cd, Pb는 토양오염기준의 5%, Cu는 10%, As는 15%, Zn은 20% 이하 수준으로 분포하고 있어 강원지역 논토양은 안전한 것으로 판단된다.

## References

- Ahn, B.K., J.H. Lee, K.C. Kim, H.G. Kim, D.S. Jeon, and Y.S. Zhang. 2012. Changes in chemical properties of paddy field soils as influenced by regional topography in Jeonbuk province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(3):393-398.
- Jeong, J.H., B.W. Sin, and C.H. Yoo. 2001. Effects of the successive application of organic matters on soil properties and rice yield. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 34(2):129-133.
- Jung, B.G., G.H. Jo, E.S. Yun, J.H. Yoon, and Y.H. Kim. 1998. Monitoring on chemical properties of bench marked paddy soils in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 31(3):246-252.
- Kang, S.S., A.S. Roh, S.C. Choi, Y.S. Kim, H.J. Kim, M. T. Choi, B.K. Ahn, H.W. Kim., H.K. Kim, J.H. Park, Y.H. Lee, S.H. Yang, J.S. Ryu, Y S. Jang, M S. Kim, Y.K. Sonn, C.H. Lee, S.G. Ha, D.B. Lee, and Y.H. Kim. 2012. Status and changes in chemical properties of paddy soil in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(6):968-972.
- Kim, C.B. and J. Choi. 2002. Changes in rice yield, nutrients use efficiency and soil chemical properties as affected by annual application of slag silicate fertilizer. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 35(5):280-289.
- Kim, M.S., W.I. Kim, J.S. Lee, G.J. Lee, G.L. Jo, M.S. Ahn, S.C. Choi, H.J. Kim, Y.S. Kim, M.T. Choi, Y.H. Moon, B K. Ahn, H.W. Kim, Y.J. Seo, Y.H. Lee, J.J. Hwang, Y.H. Kim, and S.K. Ha. 2010. Long-term monitoring study of soil chemical contents and quality in paddy fields. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43(6):930-936.
- Kim, M.S., Y.H. Kim, B.K. Hyun, J.E. Yang, Y.S. Zhang, H.B. Yun, Y.K. Sonn, Y.J. Lee, and S.K. Ha. 2011. Rice yield and changes of available silicate in paddy soils from long-term application of chemical fertilizers and soil amendments. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(6):1118-1123.
- 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.
- 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. 2012a. Topographical chemical properties of paddy field soils in Gyeongnam province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(2):143-148.
- Lee, Y.H., Y.K. Sonn, and Y.S. Ok. 2012b. Investigation of heavy metal concentrations in paddy soils of Gyeongnam province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(3):399-403.
- ME (Ministry of Environment). 2002. Enforcement decree of the soil environment conservation act. Ministry of Environment, Korea.
- ME (Ministry of Environment). 2009. Standard test method for soil pollution. Ministry of Environment, Korea.
- NAAS (National Academy of Agricultural Science). 2010a. Method of soil chemical analysis. Rural Development Administration. Korea.
- NAAS (National Academy of Agricultural Science). 2010b. Fertilization standard of crop. Rural Development Administration. Korea.
- RDA (Rural development administration). 1989. Report of the improvement of soil for ten years. RDA. Suwon, Korea.
- RDA (Rural development administration). 2013. Monitoring project on agro-environment quality; the second round of the workshop. Rural development administration. Suwon, Korea.
- RDA (Rural development administration). 2012. 2011 Annual report of the monitoring project on agro-environmental quality. RDA, Korea.
- Roh, A.S., J.S. Park, Y.H. Kim, and S.S. Kang. 2015. Status and Changes in chemical properties of paddy soil in Gyeonggi province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 48(5):436-441.
- Song, Y.S., H.J. Jun, B.G. Jung, W.K. Park, K.S. Lee, H. K. Kwak, J.H. Yoon, C.S. Lee, B.Y. Yeon, P.J. Kim, and Y.S. Yoon. 2007. Determination of optimum rate and interval of silicate fertilizer application for rice cultivation in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40(5):354-363.