

어젠다코드	1-1-1		구분	완결	
기술분야코드	V1	기술유형코드	E02	작목구분코드	EE-02-EE22
과제종류	공동연구		세세부사업	핵심전략기술개발	
연구과제 및 세부과제			수행기간	과제책임자 및 세부책임자	
환경변화에 따른 농업환경 모니터링			'13~'16	국립농업과학원	김유학
1) 강원 일반농경지 토양화학성 및 물리성 변동조사			'13~'16	환경농업연구과	윤병성
2) 강원 일반농경지 미생물 분포 및 농업용수 수질조사			'13~'16	환경농업연구과	최승출
색인용어	토양화학성, 토양물리성, 토양중금속, 농업용수 수질, 토양미생물				

## ABSTRACT

Monitoring on soil chemical properties, soil physical status and soil microorganisms in arable soils was conducted on 4 cropland types including upland, orchard, rice paddy and plastic film house from 2013 to 2016 in order to provide basic information for soil fertility management of Gangwon Province. Monitoring of agricultural irrigation water, surface and ground-water, quality was investigated annually too. Objective of this study was to provide the fundamental data of environmentally-friendly agriculture policy and to product agricultural safe products.

### Soil Chemical Properties

**Upland soil** samples were taken from 170 sites in 2013. Chemical properties were pH 6.5, organic matter 26 g kg<sup>-1</sup>, available phosphate 675 mg kg<sup>-1</sup> and exchangeable K, Ca, Mg were 0.82, 5.7, 1.4 cmolc kg<sup>-1</sup>, respectively. The content of pH, organic matter and exchangeable Ca were within the optimal range. The content of exchangeable Mg was lower than the optimal range. Available phosphate content and exchangeable K were over the optimal range.

**Orchard soil** samples were taken from 80 sites in 2014. Chemical properties were pH 6.2, organic matter 38 g kg<sup>-1</sup>, available phosphate 804 mg kg<sup>-1</sup> and exchangeable K, Ca, Mg were 1.41, 8.0, 2.3 cmolc kg<sup>-1</sup>, respectively. The content of organic matter tend to increase gradually since first investigated 2002. Available phosphate content was much high than the optimal range. The ratio of high-level site was increased from 62% in 2002 to 70% in 2014.

**Paddy soil** samples were taken from 150 sites in 2015. Chemical properties were pH 5.9, organic matter 22 g kg<sup>-1</sup>, available phosphate 123 mg kg<sup>-1</sup>, available silicate 170mg kg<sup>-1</sup> and exchangeable K, Ca, Mg were 0.39, 4.8, 0.9 cmolc kg<sup>-1</sup>, respectively. The content of pH, organic matter and available silicate were within the optimal range. The content of exchangeable Ca and Mg were lower than the optimal range for plant cultivation. 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>, exchangeable 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 exchangeable K and Ca were different among the different topographical sampling sites, and

exceeded optimal values in the fluvio-marine plains. Soil pH was different among the different soil texture sampling sites. OM, Avail.  $P_2O_5$  and  $SiO_2$  were not different among the different soil texture sampling sites. Paddy soil samples within appropriate pH range were increased from 65% in 2013 to 77% in 2007, 68% in 2011, and 71% in 2015. In case of Avail.  $SiO_2$ , soil samples within appropriate range were increased from 20% in 2003, to 37% in 2007, 29% in 2011, and 45% in 2015.

**Plastic film house soil** samples were taken from 100 sites in 2016. Chemical properties were pH 6.5, organic matter  $40 \text{ g kg}^{-1}$ , available phosphate  $1240 \text{ mg kg}^{-1}$  and exchangeable K, Ca, Mg were 1.9, 13.3,  $3.9 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , respectively. The content of organic matter tend to increase gradually. In that increased EC and exchangeable K, Ca, Mg, there were severe salination.

**Heavy metal content** investigated was much lower than soil contamination criteria.

### Soil physical Properties

**Upland soils** samples were taken from 40 sites in 2013 were following as; Bulk densities of surface soil and subsoil were  $1.31$  and  $1.49 \text{ Mg m}^{-3}$ . Yamanaka hardness of surface soil and subsurface were 12.5 and 15.8 mm, respectively. In addition, the average of surface soil depth was 18.5 cm.

**Orchard soils** samples were taken from 40 sites in 2014 were following as; Bulk densities of surface soil and subsoil were  $1.29$  and  $1.43 \text{ Mg m}^{-3}$ . Yamanaka hardnesses of surface soil and subsurface were 14.2 and 15.8, respectively. In addition, the average of surface soil depth was 28 cm.

**Paddy soils** samples were taken from 40 sites in 2015 were following as; Bulk densities of surface soil and subsoil were  $1.31$  and  $1.56 \text{ Mg m}^{-3}$ . Yamanaka hardness of surface soil and subsurface were 10.2 and 16.4 mm, respectively. In addition, the average of surface soil depth was 16.1 cm.

**Plastic film house soil** samples were taken from 40 sites in 2016 were following as; Bulk densities of surface soil and subsoil were  $1.03$  and  $1.38 \text{ Mg m}^{-3}$ . Yamanaka hardness of surface soil and subsurface were 3.7 and 11.6 mm, respectively. In addition, the average of surface soil depth was 23.7 cm.

### Soil Microorganism

Biomass C of **upland soils** was  $138 \text{ mg kg}^{-1}$  and soil dehydrogenase activity was  $47 \text{ ugTPF g}^{-1}24\text{h}^{-1}$ . Bacterial dominant phylum rank was *Proteo-bacteria*(35.1%), *Acido-bacteria*(20.1%), *Actino-bacteria*(8.0%). and The estimated value of species richness index was Ace 1,234 and Chao 1,945. The diversity index was Shannon 5.9 and Invsimpson 304.

Biomass C of **orchard soils** was  $233 \text{ mg kg}^{-1}$  and soil dehydrogenase activity was  $24 \text{ ugTPF g}^{-1}24\text{h}^{-1}$ . Bacterial dominant phylum rank was *Proteo-bacteria*(37.1%), *Acido-bacteria*(16.9%), *Actino-bacteria*(12.4%). and The estimated value of species richness index was Ace 1,435 and Chao 1,024. The diversity index was Shannon 5.7 and Invsimpson 244.

Biomass C of **paddy soils** was  $362 \text{ mg kg}^{-1}$  and soil dehydrogenase activity was  $120 \text{ ugTPF}$

$\text{g}^{-1}24\text{h}^{-1}$ . Bacterial dominant phylum rank was *Proteo-bacteria*(29.6%), *Chloro-flexi*, (15.2%), *Acido-bacteria*(14.2%), *Actino-bacteria*(6.1%). and The estimated value of species richness index was Ace 4,129 and Chao 2,242. The diversity index was Shannon 6.3 and Invsimpson 602. Biomass C of **plastic film house soils** was  $335 \text{ mg kg}^{-1}$  and soil dehydrogenase activity was  $82 \text{ ugTPF g}^{-1}24\text{h}^{-1}$ . Bacterial dominant phylum rank was *Proteo-bacteria*(39.9%), *Acido-bacteria*(14.6%), *Bacteroidetes*(9.6%), *Actino-bacteria*(7.8%). and The estimated value of species richness index was Ace 2,263 and Chao 1,383. The diversity index was Shannon 5.9 and Invsimpson 344.

## Agricultural Water Quality

**Surface water** quality was estimated at 34 sites from 2013 to 2016. In 2016, the average concentration of DO, BOD, CODMn, SS were 10.1, 0.9, 2.4, 2.72 mg/L, respectively. and pH was 7.4. The sampling site ratio of pH, T-P which was over the agricultural water criteria was 3.9, 2.0, respectively. and All of the other factors were within the criteria.

The sampling site ratio of exceeding the agricultural water criteria, from 2013 to 2016. pH was 2.9, 2.0, 3.9, 3.9% in 2013, 2014, 2015, 2016, respectively. T-P was 1.0, 2.9, 2.0%, in 2014, 2015, 2016, respectively. As for DO, BOD, CODMn, SS, there was no excess site from 2013 to 2016.

**Ground water** quality was estimated at 20 sites from 2013 to 2016. The average concentration of  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$  were 20.49, 6.27 mg/L, respectively. pH was 6.8 and EC was 0.32 dS/m in 2016. Especially, the concentration of  $\text{NO}_3\text{-N}$ , critical factor of ground water quality was much lower than the agricultural water quality criteria.

From 2013 to 2016, the sampling site ratio of exceeding the agricultural water criteria, pH was 2.5, 5.09%, in 2015, 2016, respectively.  $\text{NO}_3\text{-N}$  was 2.5% in 2013. and specific harmful substances such as Cd, As, Hg were not detected or much lower than agricultural water quality criteria. There was no significant change of surface and ground water quality from 2013 to 2016

## 1. 연구목표

우리나라 소비자들은 농산물의 안전성을 최우선적으로 요구하고 있으며, 지속적인 안전농산물 생산을 위한 친환경농업은 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. 과거에는 농경지의 화학성 변동을 모니터링 하는 목적이 토양의 비옥도를 증진 하여 작물의 생산성을 높이는데 중점을 두었지만(Peters, 2000), 최근에는 양분의 과잉투입으로 농경지내 인산, 칼리 등 집적된 양분과 중금속 성분 등이 환경으로 유출될 수 있는 가능성을 평가 하고 2차 오염을 방지하는 것이 중요하게 되었다(박, 1997; 김, 1996). 각 나라마다 작물생산에 필요한 화학비료, 중금속 등 외부자재의 투입으로 생긴 토양 내 물질의 함량을 지속적으로 모니터링하고 있고 이를 기초로 데이터베이스를 구축하는 시스템을 갖춰 자료를 축적하고 활용하는

체계를 갖추고 있다. 우리나라는 1998년도에 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 논토양 화학성과 토양 질 지표의 변동을 보고하였다. 따라서 본 연구는 우리나라 농경지 토양환경 변동을 주기적으로 파악하여 과학적인 토양개량과 합리적인 시비대책 수립, 친환경농업 기반 구축, 토양과 농업용수 수질오염 경감, 농산물의 안전성을 지키기 위하여 논-시설재배지-밭-과수원 토양의 화학성, 물리성, 미생물 분포, 농업용수 수질을 조사한 결과를 검토하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 〈제1세부과제 : 강원 일반농경지 토양화학성 및 물리성 변동조사〉

#### (시험 1) 토양화학성 변동조사

##### 가) 시료 채취 방법

농경지 토양의 화학성과 중금속 함량의 변동을 주기적으로 파악하기 위하여 밭토양 170정점(2013), 과수원토양 80정점(2014), 논토양 170정점(2015), 시설재배지토양 100정점(2016)을 논과 밭 토양은 표토(0~20cm), 과수원과 시설재배지 토양은 표토(0~20cm)와 심토(20~40cm)로 구분하여 채취·분석하였다(표 1).

##### 나) 토양 분석 방법

토양 화학성 분석은 농촌진흥청 토양화학분석법 (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 N 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 논토양 화학성 평균의 연차간 변화를 분석하였고, 2013년 제2차 농업환경자원 변동평가

표 1. 강원도 토양 화학성 및 물리성 조사지점수

지역	춘천	원주	강릉	동해	태백	속초	삼척	홍천	횡성	영월
밭토양(물리성)	14(2)	14(5)	15(6)	7(3)	8(1)	3(1)	2(0)	15(3)	15(7)	13(3)
과수원토양	16(3)	17(9)	10(8)	3(3)		2(2)	4(1)	4(0)	3(1)	4(0)
논토양	10(2)	25(7)	16(4)	6(0)		2(1)	6(2)	24(5)	16(6)	5(1)
시설재배토양	14(8)	8(4)	7(3)	6(2)	5(1)	4(1)	4(3)	5(2)	7(3)	4(3)
지역	평창	정선	철원	화천	양구	인제	고성	양양	합계	
밭토양(물리성)	14	15(2)	7	6(1)	8(3)	10(3)	5(0)	2(0)	170(40)	
과수원토양	1(0)	1(0)	1(1)	1(1)	3(2)	1(0)		9(9)	80(40)	
논토양	5(1)	3(2)	12(6)	2(0)	4(2)	4(1)	5(0)	5(0)	150(40)	
시설재배토양	7(0)	2(1)	5(2)	3(1)	4(2)	4(1)	7(3)	4(0)	100(40)	

워크숍 (RDA, 2013)에서 제안한 토지이용별 토양화학성 적정범위 변경안에 따라 논토양 화학성 적정범위를 기준으로 부족, 적정, 과다비율을 구하여 연차별 변화를 비교하였다. 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.

## (시험 2) 토양 물리성 조사

### 가) 시료 채취 방법

농경지 토양의 물리성은 2013년에는 밭토양, 2014년에는 과수원토양, 2015년에는 논토양, 2016년에는 시설재배토양을 대상으로 각각 40점을 채취·분석하였다.

### 나) 토양 분석 방법

토양 물리성 조사항목은 토성, 용적밀도, 삼상, 경도 등이다. 토성은 미농무성 비중계법으로 분석하였으며, 2 inch core를 이용하여 5반복으로 시료를 채취한 후 용적밀도와 삼상을 분석하였다 (농업과학기술원, 2000). 경도는 Yamanaka 경도계를 이용하여 표토와 심토의 경도를 10반복으로 측정하였다. 또한 토양단면의 A층 깊이인 표토심을 측정하였다.

## <제2세부과제 : 강원 일반농경지 미생물 분포 및 농업용수 수질조사>

### (시험 1) 토양미생물 분포조사

#### 가) 시료 채취 방법

토양미생물 분석 시료는 일반농경지 토양화학성 시료에서 선정하여 밭토양(2013), 과수원토양(2014), 논토양(2015), 시설재배지토양(2016) 각각 25지점의 표토 토양시료를 2mm 체로 선별하여 4℃ 저온실에 보존하며 분석하였다.

#### 나) 토양미생물 분석 방법

우리도 농경지토양(밭, 과수원, 논, 시설재배지)에 토양생태계에 존재하는 미생물의 다양성, 종 풍부도, 문 수준의 미생물 분포를 측정은 분자유전학적 방법인 Pyrosequencing기법을 이용한 군집 분석으로 수행되었다. 즉 토양시료로 부터 Metagenomic DNA를 추출하여 16S rRNA를 지표로 Sequencing하여 유전자 정보 분석을 통하여 분석하였으며, 또한 모든 시료에 대하여 토양비옥도 지표로 미생물체 탄소량(Biomass C)를 건전성 지표로 토양탈수소효소 (Soil dehydrogenase) 활성을 측정하였다(2009, 국립농업과학원 ; 2012, 국립농업과학원). Pyrosequencing기법에 의한 미생물 군집 분석 과정은 그림 1과 같다.

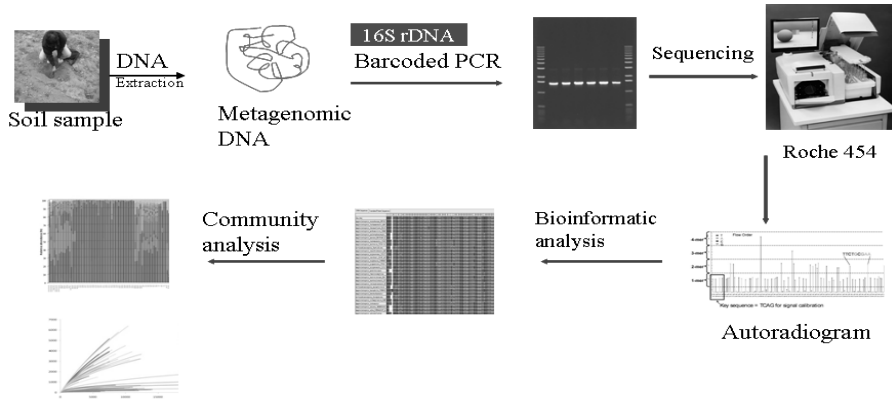


그림 1. Pyrosequencing 분석 과정

## (시험 2) 농업용수 수질조사

### 가) 시료 채취 방법

농업용 하천수의 수질조사는 농업지대를 경유하는 하천 34지점을 대상으로 4월, 7월, 10월로 연 3회씩 실시하였다. pH, EC, DO 등은 현장에서 측정 후, 포리에틸렌 용기에 채취하여 ICE BOX에 넣어 운반하여 4℃ 냉장고에 보관하면서 분석을 실시하였다. 지하수 수질시료는 영농형 태별로 논 5, 밭 5, 시설재배지 10지점을 선정하여 지하수 양수관 내에 잔류하고 있는 지하수를 완전히 배제하고 시료를 채수하였다. 현장에서 pH, EC를 측정하고 실험실로 운반 후 분석을 실시하였다.

### 나) 농업용수 분석 방법

하천수 및 지하수 시료는 수질오염공정시험법(환경부, 2005), Standard Method(APAH, 1992), 농업용수 수질분석 이론 및 실무(농촌진흥청, 2006)에 준하여 분석하였다. BOD와 DO는 DO meter 법에 준하여 분석하였고, COD는 산화제로 과망간산칼륨을 이용하여 분석하였다. NH<sub>4</sub>-N은 Indophenol법, T-N과 T-P는 자동분석기를 이용한 비색법, SS는 중량법, 양이온류는 6번 여지로 여과한 후, ICP-AES(Inductively Plasma-Atomic Emission Spectrometry)를 이용하여 분석하였다. 중금속 분석은 전처리 시약으로 질산(HNO<sub>3</sub>)을 이용하여 전처리 후 ICP-AES를 이용하여 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

〈제1세부과제 : 일반농경지 토양화학성 및 물리성 변동조사〉

### (시험 1) 토양화학성 변동조사

#### 가) 밭토양의 화학성

강원도 밭토양의 토양화학성 변동을 주기적으로 파악하기 위하여 2013년 조사한 토양화학성은 170 지점을 조사하였으며(표 1), 평균 함량은 표 2와 같다. 우리나라 밭토양의 평균 화학성은(2013)

pH 6.3, 유기물 25 g kg<sup>-1</sup>, 유효인산 627 mg kg<sup>-1</sup>이었고, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 0.75, 6.4, 1.7 cmol<sub>c</sub>kg<sup>-1</sup> 이었는데 강원도 밭토양의 평균 화학성은 pH 6.5, 유기물 26 g kg<sup>-1</sup>, 유효인산 675 mg kg<sup>-1</sup>이었고, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 0.82, 5.7, 1.4 cmol<sub>c</sub>kg<sup>-1</sup> 이었다.

표 2. 강원도 밭토양의 화학성분 함량

	pH (1:5)	EC (dS m <sup>-1</sup> )	OM (g kg <sup>-1</sup> )	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	Exch. cation(cmole <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )				LR (kg 10a <sup>-1</sup> )
					K	Ca	Mg	Na	
평균	6.5	0.45	26	675	0.82	5.7	1.4	0.2	141
최대값	7.8	2.74	71	1711	3.42	15.8	5.2	1.1	398
최소값	4.5	0.07	3	41	0.10	0.3	0.1	0	0
중앙값	6.5	0.31	23	695	0.71	5.5	1.2	0.2	133
적정범위	6.0~7.0	≤2	20~30	300~500	0.50~0.60	5.0~6.0	1.5~2.0	-	-

표 3. 강원도 밭토양의 화학성분 함량 수준별 분포비율

(단위 : %)

성분	함량분포 비율						적정범위
pH (1:5)	≤4.5	4.6~5.0	5.1~5.5	5.6~6.0	6.1~6.5	6.6<	6.0~6.5
	0	1	7	20	23	49	
OM (g kg <sup>-1</sup> )	≤10	11~20	21~30	31~40	41~50	51<	20~30
	6	29	31	22	7	5	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	≤200	201~300	301~400	401~500	501~600	601<	300~500
	9	9	7	8	9	58	
Ex. K (cmole <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	≤0.30	0.31~0.40	0.41~0.50	0.51~0.60	0.61~0.70	0.71<	0.5~0.6
	11	11	9	10	8	51	
Ex. Ca (cmole <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	≤3.0	3.1~4.0	4.1~5.0	5.1~6.0	6.1~7.0	7.1<	5.0~6.0
	12	17	15	14	14	28	
Ex. Mg (cmole <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	≤0.5	1.6~1.0	1.1~1.5	1.6~2.0	2.1~2.5	2.6<	1.5~2.0
	6	32	25	19	9	9	

pH와 유기물, 치환성 칼슘은 적정범위를 만족하였으나 치환성 마그네슘은 적정범위 미만이었고, 유효인산과 치환성 칼륨은 적정범위를 초과하였으며, 밭토양의 화학성분 함량 수준별 분포비율은 표 3에 나타내었다. 유기물, 치환성 양이온류 및 유기물은 큰 변화가 없었으며 pH는 점차 개선되는 경향이었고, 유효인산은 적정범위 대비 높은 수준이었으나 연차별로 큰 변화는 없었다(표 4).

표 4. 강원 발토양의 화학성 변화

조사년도 (시료수)	pH (1:5)	OM (g kg <sup>-1</sup> )	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	Ex. cation(Cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )		
				K	Ca	Mg
'01(172)	5.9	20	688	0.8	5.4	1.5
'05(170)	6.0	20	728	0.6	4.6	0.4
'09(170)	6.3	20	699	0.6	4.4	1.1
'13(170)	6.5	26	675	0.82	5.7	1.4
적정범위	6.0~7.0	20~30	300~500	0.5~0.6	5.0~6.0	1.5~2.0

그림 2는 2013년에 조사된 우리도 발토양 170지점의 토양화학성 적정수준 대비 분포비율의 과부족율을 살펴 본 결과이다.

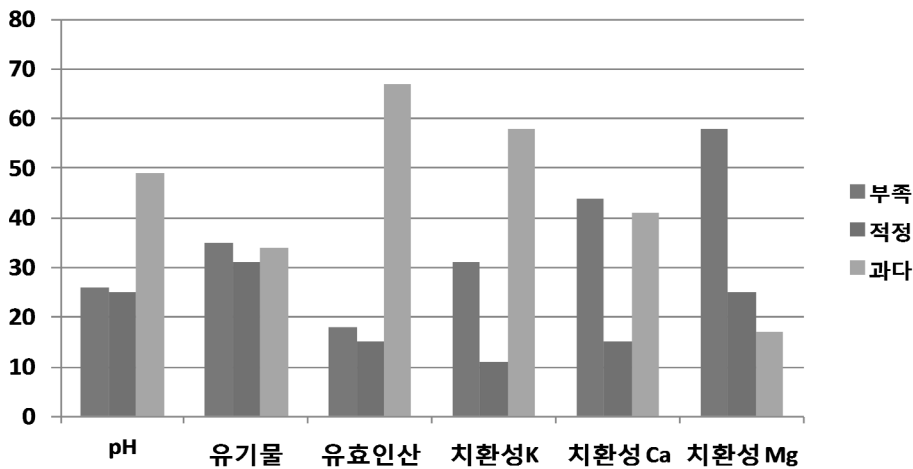


그림 2. 강원지역 발토양의 화학성분 적정수준에 따른 과부족율 (2013)

pH, 유효인산, 치환성 K은 적정 수준보다 과다한 필지가 많았고, 치환성 Mg은 부족한 필지가 많았다. pH는 26%가 적정수준(6.0~7.0) 보다 낮은 산성 토양이었고, 7.0을 초과하는 필지도 49%로 조사되었다. 유기물의 경우 35%가 적정수준인 20~30 g kg<sup>-1</sup> 보다 낮았으며, 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘은 적정수준 보다 낮은 필지가 각각 32, 53, 57%로 조사되었다. 그리고 유효인산의 경우 적정수준 300~500 mg kg<sup>-1</sup> 보다 높은 필지가 67%로 이는 우리도 발토양에 가축분퇴비 사용이 많음을 알 수 있었다.

우리도 발토양의 화학성분 중 pH, 유기물, 유효인산과 치환성 Mg의 적정함량 대비 과부족율 변화를 그림 3에 나타내었다. 토양 pH는 적정 범위보다 낮은 지점이 많았으나, 높은 지점의 비율이 증가하였다. 유기물의 부족한 필지는 조사가 시작된 2001년보다 부족한 지역이 감소하였고, 많은 지점이 증가하였다. 유효인산은 과다한 지점이, 치환성 Mg은 부족한 지점이 많은 경향을 나타냈다. 따라서 우리도 발토양 양분관리를 위해서는 인산 함량이 많은 가축분퇴비 사용을 지양하고 유기물 사용을 증시하여야 할 것으로 사료된다.

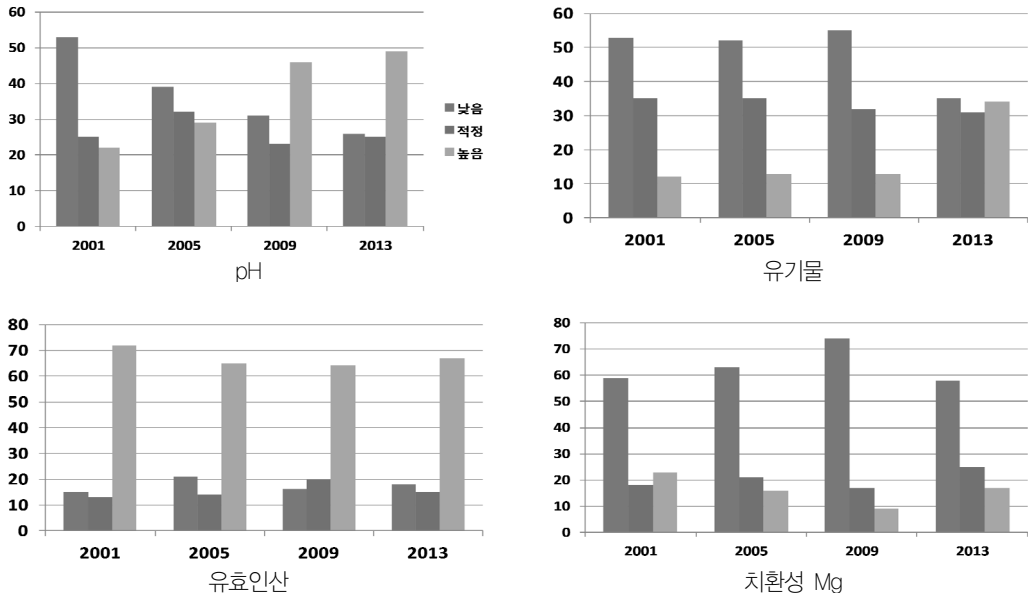


그림 3. 강원지역 밭토양의 화학성분 과부족을 변화

표 5. 강원지역 밭토양 중금속 함량

(단위 mg kg<sup>-1</sup>)

	Cd	Cu	Pb	As	Zn	Cr	Ni
평균	0.29	20.5	13.3	7.3	77.4	24.6	12.6
최대치	4.58	161	198.5	23.2	192.5	90.7	50.0
최소치	ND	3.0	ND	0.7	35.7	2.91	0.4
중앙값	0.14	16.8	9.3	5.2	74.4	20.5	
우려기준 <sup>§</sup>	4	150	200	25	300	-	100

§ 토양환경보전법상의 토양오염 우려 기준(환경부, 2010)

토양 중금속 평균 함량은 표 5와 같다. 170 지점중 우려기준을 초과하는 필지는 Cd와 Cu 각각 1곳이 있었는데, 초과필지는 광산 지역이었던 곳으로 객토가 예정되어 있다. 이 지점을 제외한 강원도 일반농경지 밭토양 평균 중금속 함량은 환경오염 기준에 크게 미치지 못해 강원도에서 생산된 농작물은 중금속 오염으로부터 안전함을 알 수 있다.

#### 나) 과수원토양의 화학성

강원도 과수원토양의 토양화학성 변동을 주기적으로 파악하기 위하여 2014년 조사한 토양화학성은 80 지점을 조사하였으며(표 1), 평균 함량은 표 6과 같다. 우리나라 과수원토양의 표토의 평균 화학성은(2014) pH 6.3, 유기물 33 g kg<sup>-1</sup>, 유효인산 685 mg kg<sup>-1</sup>이었고, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 1.00, 7.8, 2.02 cmol<sub>c</sub>kg<sup>-1</sup> 이었고, LR은 99 이었다. 한편 강원도 과수원 토양의 평균 화학성은 pH 6.2, 유기물 38 g kg<sup>-1</sup>, 유효인산 804mg kg<sup>-1</sup>이었고, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 1.41, 8.0, 2.3 cmol<sub>c</sub>kg<sup>-1</sup> 이었고, LR은 149 이었다. pH와 EC는 적정

범위를 만족하였으나, 유효인산과 치환성 칼륨, 치환성 칼슘은 적정범위를 초과하였다(표 6). 강원도 밭토양의 화학성분 함량 수준별 분포비율은 표 7에 나타내었다. pH는 점차 개선되는 경향이었고, 유효인산은 적정범위 대비 높은 수준이었으며, 치환성 양이온도 증가하는 경향을 보였다(표 8).

표 6. 강원도 과수원토양 일반 화학성분 함량(2014)

		pH (1:5)	EC (dS m <sup>-1</sup> )	OM (g kg <sup>-1</sup> )	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	Exch. cations(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )				LR (kg 10a <sup>-1</sup> )
						K	Ca	Mg	Na	
표토	평균	6.2	0.67	38	804	1.41	8.0	2.3	0.7	149
	최대값	7.6	3.05	112	2,924	4.25	20.1	7.2	1.7	398
	최소값	4.5	0.06	13	12	0.14	0.8	0.4	0.1	133
	중앙값	6.3	0.37	35	784	1.2	7.7	2.1	0.7	133
심토	평균	6.1	0.42	23	665	1.12	6.8	1.9	0.6	201
	최대값	7.6	2.39	66	2,125	3.39	20.1	5.0	1.6	398
	최소값	4.5	0.04	2.9	2	0.25	1.4	0.5	0.1	0
	중앙값	6.1	0.31	21	627	1.07	6.8	1.7	0.6	133
적정범위		6.0~7.0	≤2	20~30	300~550	0.50~0.80	5.0~6.0	1.5~2.0	-	-

표 7. 강원지역 과수원토양 화학성분 함량 수준별 분포비율 (2014)

(단위 :%)

성분	함량분포 비율							적정범위	
	≤4.5	4.6~5.0	5.1~5.5	5.6~5.9	6.0~6.5	6.6~7.0	7.1<		
pH (1:5)	표토	2	7	18	8	23	19	23	6.0~7.0
	심토	2	16	9	16	19	23	15	
OM (g kg <sup>-1</sup> )	표토	0	11	25	28	11	16	9	20~30
	심토	13	31	33	19	1	2	1	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	표토	5	5	7	11	23	20	29	300~550
	심토	10	10	10	9	31	10	20	
Ex. K (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	표토	1	6	16	28	16	14	19	0.50~0.80
	심토	2	13	25	19	23	7	11	
Ex. Ca (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	표토	13	5	7	10	24	17	24	5.0~6.0
	심토	16	7	10	9	28	14	16	
Ex. Mg (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	표토	4	7	14	24	16	15	20	1.5~2.0
	심토	2	20	16	23	14	11	14	

표 8. 강원도 과수원토양 일반 화학성 변화

조사년도 (시료수)	pH (1:5)	OM (g kg <sup>-1</sup> )	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	Ex. cation(Cmol+kg <sup>-1</sup> )		
				K	Ca	Mg
'02(80)	5.9	22	734	0.95	4.5	1.3
'06(80)	5.9	24	896	0.92	4.6	1.2
'10(80)	5.9	28	791	0.97	4.9	1.3
'14(80)	6.2	38	804	1.41	8.0	2.3
적정범위	6.0~7.0	20~30	300~550	0.50~0.80	5.0~6.0	1.5~2.0

그림 4는 2014에 조사된 강원도 과수원토양 80지점의 토양화학성 적정수준 대비 분포비율의 과부족율을 살펴 본 결과이다. pH를 제외한 유기물, 유효인산, 치환성 양이온은 적정 수준보다 과다한 필지가 많았다. 강원지역 연차별 과수원 토양의 화학성분 과부족율 변화를 보면 토양 pH는 적정 범위보다 높은 지점의 비율이 증가하였고, 유기물은 부족한 지역이 감소하고, 과다한 지점이 증가하였다(그림 5).

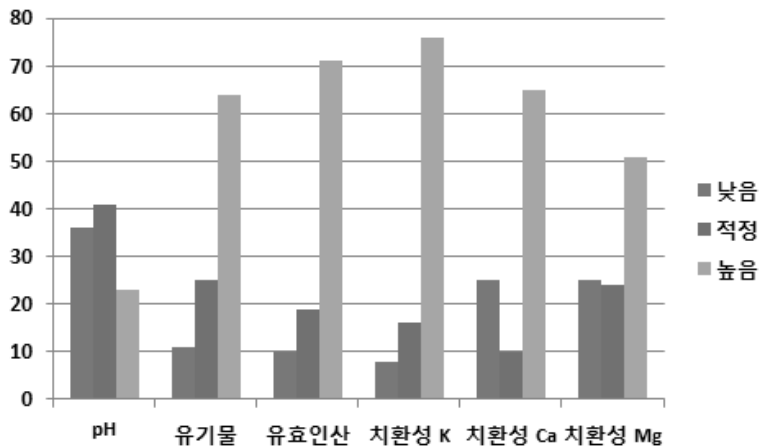
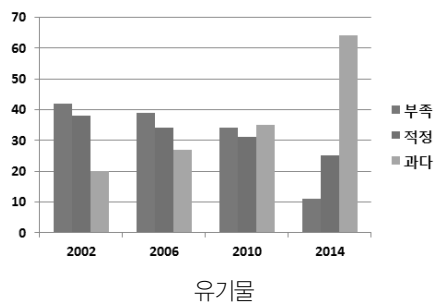
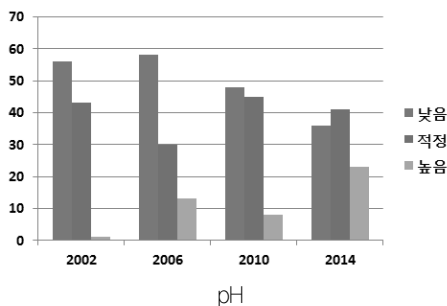


그림 4. 강원도 과수원토양의 화학성분 적정수준에 따른 과부족율 (2014년)



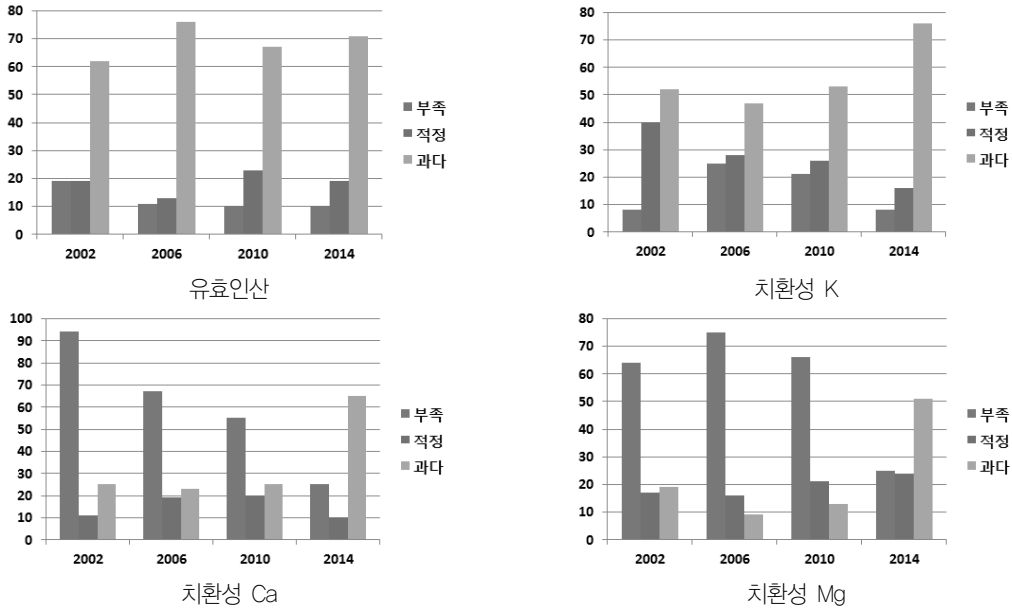


그림 5. 강원도 연차별 과수원 토양의 화학성분 과부족율 변화

토양 중금속 평균 함량은 표 9와 같다. 80 지점중 우려기준을 초과하는 필지는 없었고, 중금속 함량은 환경오염기준 보다 크게 낮았다. 강원도 일반농경지 밭토양 평균 중금속 함량은 환경오염 기준에 크게 미치지 못해 강원도에서 생산된 농작물은 중금속 오염으로부터 안전함을 알 수 있다.

표 9. 강원도 과수원 토양 중금속 함량 (단위 mg kg<sup>-1</sup>)

		Cd	Cu	Pb	As	Zn	Cr*	Ni
표토	평균	0.20	24.2	9.4	4.7	87.3	30.3	15.3
	최대값	0.62	116.0	24.4	14.1	198.4	91.6	31.6
	최소값	0.03	5.7	8.8	4.3	84.8	8.3	3.1
	중앙값	0.18	21.2	2.4	ND	38.8	28.2	14.3
심토	평균	0.19	21.0	8.7	4.7	72.5	31.9	15.8
	최대값	0.52	47.4	24.4	12.2	119.3	90.7	32.9
	최소값	0.03	4.4	ND	ND	29.6	6.0	2.7
	중앙값	0.17	21.4	8.22	4.4	71.5	29.3	15.1
우려기준 <sup>§</sup>		4	150	200	25	300		100

§ 토양환경보전법상의 토양오염 우려 기준(환경부, 2010) \*총크롬

#### 다) 논토양의 화학성

강원도 논토양의 토양화학성 변동을 주기적으로 파악하기 위하여 2015년 조사한 토양화학성은 150 지점으로(표 1), 평균 함량은 표 10과 같다. 우리나라 논토양의 평균 화학성은(2015) pH 5.9, 유기물 28 g kg<sup>-1</sup>, 유효인산 138 mg kg<sup>-1</sup>이었고, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 0.30,

5.6,  $1.3\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$  이었는데 강원도 논토양의 평균 화학성은 pH 5.9, 유기물  $22\text{ g kg}^{-1}$ , 유효인산  $123\text{mg kg}^{-1}$ 이었고, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 0.39, 4.8,  $0.9\text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$  이었다.

표 10. 강원도 논토양 일반 화학성분 함량(2015)

	pH (1:5)	EC ( $\text{dS m}^{-1}$ )	OM ( $\text{g kg}^{-1}$ )	Av. $\text{P}_2\text{O}_5$ ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Exch. cation( $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$ )			Av. $\text{SiO}_2$ ( $\text{mg kg}^{-1}$ )
					K	Ca	Mg	
평균	5.9	0.3	22	123	0.39	4.8	0.21	170
최대값	7.9	1.0	56	624	1.07	12.3	0.77	631
최소값	5.1	0.1	8	10	0.05	1.8	0.09	30
중앙값	5.8	0.3	20	94	0.36	4.3	0.19	146
적정범위	5.5~6.5	$\leq 2$	20~30	80~120	0.20~0.3	5.0~6.0	1.5~2.0	$\geq 157$

pH, 유기물, 유효규산은 적정범위 이내에 있었으며, 치환성칼륨은 적정범위를 초과 하였고, 치환성 칼슘과 마그네슘은 적정범위에 미달되었다(표 12). 강원도 논토양의 화학성분 함량 수준별 분포 비율은 표 13에 나타내었다. 강원도 논토양 일반 화학성 변화를 보면 pH와 유기물 평균은 적정 범위에 있었고, 유효규산은 적정범위 미달에서 적정범위 안에 들었다(표 12).

표 11. 강원도 논토양 화학성분 함량 수준별 분포비율 (2015)

(단위 :%)

성분	함량분포 비율								적정 범위
pH (1:5)	$\leq 5.0$	5.1~5.4	5.5~6.0	6.1~6.5	6.6~7.0	7.1~7.5	7.6<		5.5~6.5
	0	18	53	16	5	4	4		
OM ( $\text{g kg}^{-1}$ )	$\leq 10$	11~19	20~30	31~40	41~50	51~60	61<		20~30
	8	37	42	11	1	1	0		
Av. $\text{P}_2\text{O}_5$ ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	$\leq 40$	41~79	80~120	121~160	161~200	201~240	241<		80~120
	13	23	24	17	9	5	9		
Ex. K ( $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$ )	$\leq 0.14$	0.15~0.19	0.20~0.3	0.35~0.40	0.41~0.60	0.61~0.80	0.80<		0.20~0.3
	7	7	29	16	31	9	1		
Ex. Ca ( $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$ )	$\leq 3.0$	3.1~3.9	4.0~4.9	5.0~6.0	6.1~8.0	8.1~10.0	10.1<		5.0~6.0
	15	25	23	18	13	3	3		
Ex. Mg ( $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$ )	$\leq 0.5$	0.6~1.0	1.1~1.4	1.5~2.0	2.1~2.5	2.6~3.0	3.1<		1.5~2.0
	23	51	14	7	2	1	2		
Av. $\text{SiO}_2$ ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	$\leq 50$	51~100	101~156	157~200	201~300	301~400	400<		$\geq 157$
	6	29	20	13	20	8	4		

표 12. 강원도 논토양 일반 화학성 변화

조사년도 (시료수)	pH (1:5)	OM (g kg <sup>-1</sup> )	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	Ex. cation(Cmol+kg <sup>-1</sup> )			Av.SiO <sub>2</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )
				K	Ca	Mg	
'03(150)	5.8	21	144	0.27	5.0	1.0	121
'07(150)	6.1	20	105	0.15	5.1	1.1	152
'11(150)	5.8	25	104	0.19	4.4	0.8	134
'15(150)	5.9	22	123	0.39	4.8	0.9	170
적정범위	5.5~6.5	20~30	80~120	0.20~0.3	5.0~6.0	1.5~2.0	≥ 157

그림 6은 2015에 조사된 강원도 논토양 150지점의 토양화학성 적정수준 대비 분포비율의 과부족율을 살펴 본 결과이다. 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(그림 7). 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 토양 검정에 의한 적정시비량을 시비하고, 규산질비료나 석회는 부족한 토양에 공급하고 토양 유기물 증대를 위해서는 녹비작물 재배와 볏짚 시용 등 토양관리가 필요할 것으로 판단된다.

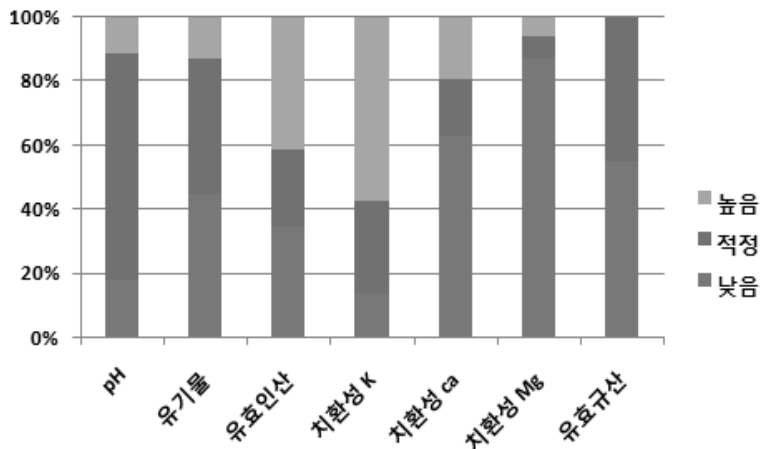


그림 6. 강원도 논토양의 화학성분 적정수준에 따른 과부족율 (2015년)

강원도 논토양 중금속 함량을 표 13에 나타내었다. 표토의 토양오염 우려기준 초과 지점수는 Pb, As 각 1지점이었고, 토양오염 대책기준을 초과한 지점은 Pb 1지점이었다. 150 지점 중 Pb과 AS 함량이 높았던 한 지점은 주위가 광산지대로 토양오염 우려기준 및 대책기준 초과지점에 대한

재분석·교차분석 실시 후 결과에 따라 정밀조사 및 개선대책을 수립 취약농경지로 전환이 요구된다. 이지점을 제외하고는 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 농토양은 중금속에 대하여 매우 안전하다고 할 수 있다.

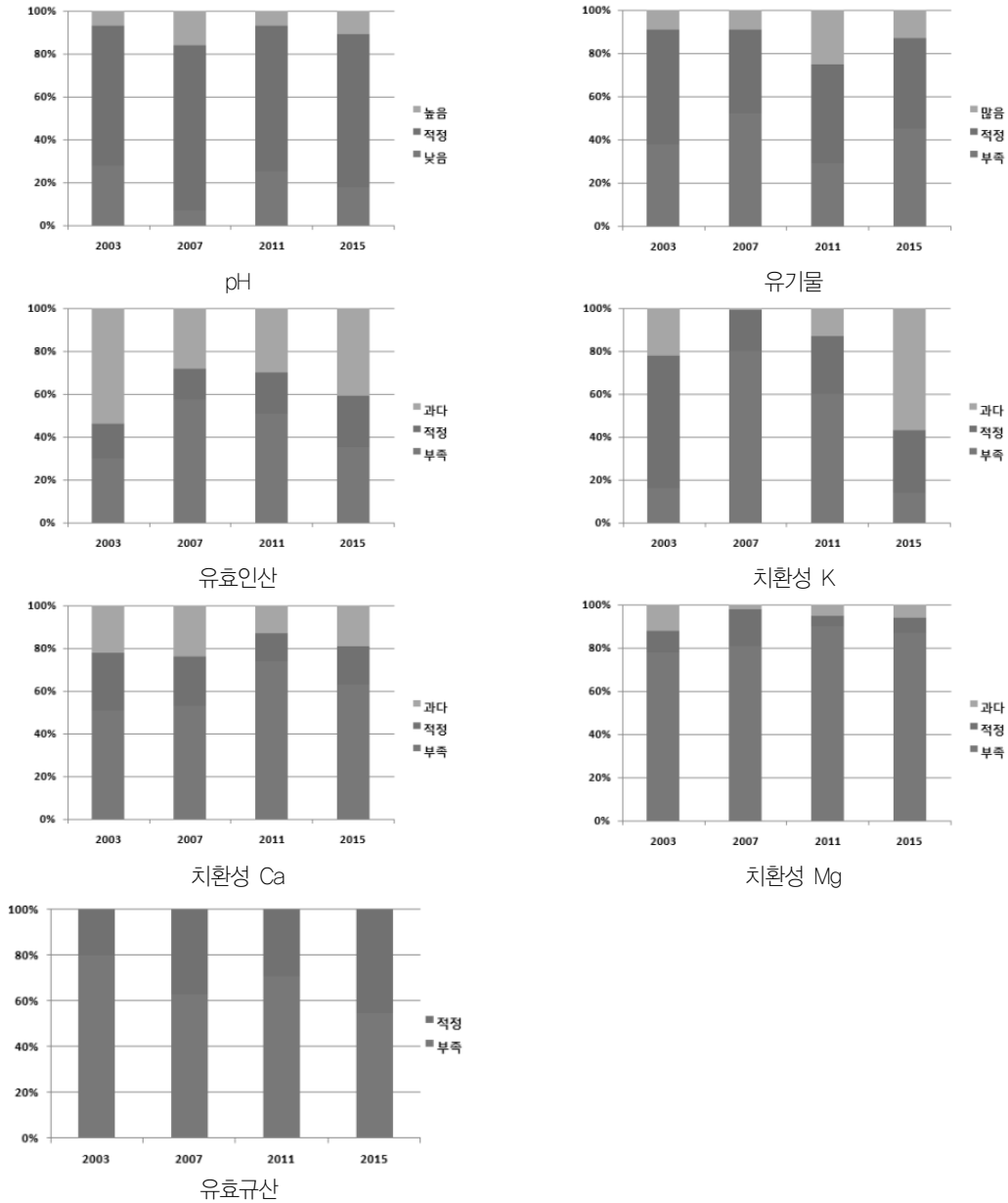


그림 7. 강원도 연차별 농 토양의 화학성분 과부족율 변화

표 13. 강원도 농토양 중금속 함량

(단위 mg kg<sup>-1</sup>)

시군별	Cd	As	Ni	Cu	Pb	Zn	Cr <sup>†</sup>	시료 점수
춘천	0.19	2.2	19.2	21.7	7.8	56.9	34.0	10
원주	0.15	1.5	7.5	8.7	6.1	61.4	14.3	25
강릉	포함	0.35	6.6	13.6	14.7	50.2	62.4	16
	^제외	0.24	3.6	13.6	10.2	6.2	56.3	
동해	0.54	7.6	19.5	17.8	8.2	51.5	32.9	6
속초	0.24	5.9	27.7	15.7	8.9	64.1	60.7	2
삼척	0.35	7.3	16.7	20.9	12.6	59.8	30.7	6
홍천	0.20	5.6	21.6	19.1	11.2	64.0	36.1	24
횡성	0.05	1.4	6.8	7.5	7.6	61.4	14.9	16
영월	0.20	4.9	20.9	20.9	16.0	66.3	28.4	5
평창	0.19	4.8	17.3	19.2	12.0	59.5	26.8	5
정선	0.33	9.0	20.4	19.2	14.1	55.6	26.8	3
철원	0.19	7.1	18.7	17.0	10.7	60.8	32.2	12
화천	0.10	2.6	22.5	24.4	7.3	58.9	40.9	2
양구	0.09	1.2	8.8	10.3	9.6	54.9	16.2	4
인제	0.17	6.5	43.2	20.7	7.7	53.0	78.8	4
고성	0.12	3.3	8.5	10.2	10.2	48.5	16.2	5
양양	0.08	6.2	15.0	12.7	10.4	55.7	39.8	5
'15 평균	*0.19(0.20)	*4.1(4.5)	*15.7(15.7)	*14.6(15.1)	*9.1(13.8)	*59.5(60.3)	*28.5(28.6)	150
평균/우려기준(%) <sup>†</sup>	4.8(5.0)	16.4(18)	15.0	9.7(10.1)	4.6(6.9)	19.8(20.1)		
중앙값	0.16	2.81	13.1	12.1	8.7	58.9	25.1	
최대치	1.90	52.7	82.0	82.1	710.5	154.2	109.6	
최대치 (오염지역제외)	1.55	20.3	37.8	46.1	26.6	109.5	104.9	
최소치	0.00	0.02	3.9	2.6	1.41	35.1	7.8	
우려기준 <sup>§</sup>	4	25	100	150	200	300	-	-
대책기준 <sup>§</sup>	12	75	300	450	600	900	-	-

§ 토양환경보전법상의 토양오염 우려 기준(환경부, 2010) \*총크롬

† 총함량 분석값 ^ 중금속 과다한 1지점 제외한 값

‡ 토양환경 보전법상의 토양오염우려기준에 대한 비율(평균값/우려기준 × 100)

§ 토양환경보전법상의 토양오염 우려 및 대책기준(환경부, 2010)

\* 중금속 함량이 과도하게 높았던 강릉의 1지점을 제외한 149 지점의 평균과 최대값

라) 시설재배토양의 화학성

강원도 시설재배토양의 토양화학성 변동을 주기적으로 파악하기 위하여 2016년 조사한 토양화학성은 100 지점을 조사하였으며(표 1), 평균 함량은 표 14,15와 같다. 우리나라 시설재배 토양의 표토의 평균 화학성은(2016) pH 6.5, 유기물 39 g kg<sup>-1</sup>, 유효인산 1,041mg kg<sup>-1</sup>이었고, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 1.6, 11.1, 3.4 cmol<sub>c</sub>kg<sup>-1</sup> 이었으나, 강원도 시설재배토양의 평균 화학성은 pH 6.5, 유기물 40 g kg<sup>-1</sup>, 유효인산 1,240mg kg<sup>-1</sup>이었고, 치환성 칼륨,

표 14. 강원도 시설재배토양 일반 화학성분 함량(2016)

구분	산도 (pH)	EC (dS/m)	유기물 (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	치환성양이온(cmol <sub>c</sub> /kg)				NO <sub>3</sub> -N (mg/kg)	
					K	Ca	Mg	Na		
표토	평균	6.5	4.8	40	1,240	1.9	13.3	3.9	0.7	157
	최대	8.2	20.0	132	2,364	6.7	26.5	11.0	4.4	558
	최소	4.5	0.2	10	113	0.2	3.7	0.6	0.1	9
	중앙	6.5	3.6	38	1,189	1.6	13.1	3.6	0.5	125
심토	평균	6.4	2.7	30	1,038	1.4	10.7	3.0	0.6	111
	최대	7.9	14.1	74	2,243	4.5	24.8	8.0	2.7	382
	최소	4.3	0.2	2	123	0.2	1.0	0.3	0.1	4
	중앙	6.5	1.6	27	986	1.0	11.0	2.6	0.4	81
적정범위	6.0~7.0	2.0이하	25~35	300~550	0.5~0.8	5.0~6.0	1.5~2.0			

표 15. 강원도 시설재배토양의 일반 화학성분 수준별 분포비율(표토)(2016)

(단위 :%)

성분	함량분포 비율								적정 범위
pH (1:5)	≤5.0	5.1~5.5	5.6~5.9	6.0~6.5	6.6~7.0	7.1~7.5	7.6<		6.0~7.0
	4	11	8	29	28	14	6		
OM (g kg <sup>-1</sup> )	≤10	11~24	25~35	36~40	41~50	51~60	61<		25~35
	1	18	26	13	14	17	11		
Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	≤299	300~550	551~800	801~999	1,000~1,499	1,500~1,999	2,000<		300~550
	2	4	14	13	38	23	6		
Ex K (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	≤0.4	0.5~0.8	0.9~2.0	2.1~3.0	3.1~4.0	4.1~4.9	5.0<		0.5~0.8
	10	12	42	20	8	3	5		
Ex Ca (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	≤4.9	5.0~6.0	6.1~9.0	9.1~12.0	12.1~15.0	15.1~18.0	18.1<		5.0~6.0
	3	2	12	26	22	18	17		
Ex Mg (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	≤1.4	1.5~2.0	2.1~3.0	3.1~4.0	4.1~5.0	5.1~6.0	6.1<		1.5~2.0
	10	8	24	14	17	11	16		

표 16 강원도 시설재배토양의 작물별 토양 화학성(표토)

작물명	산도 (pH)	EC (dS/m)	유기물 (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	치환성양이온(cmol <sub>c</sub> /kg)				NO <sub>3</sub> -N (mg/kg)
					K	Ca	Mg	Na	
고추(22)	6.3	4.3	35	1,205	1.4	11.9	3.2	0.6	149
토마토(21)	6.6	5.2	37	1,249	1.9	12.9	4.0	0.7	202
오이(8)	6.2	7.1	46	1,462	2.6	14.1	4.8	1.1	131
피망(8)	6.5	1.2	37	1,132	1.8	11.2	2.2	0.3	53
방울토마토(5)	7.0	7.8	51	1,836	1.0	19.2	6.8	1.2	188
수박(4)	6.2	7.9	28	818	1.3	13.6	5.0	0.9	332
상추(4)	6.2	2.7	43	1,105	1.2	11.0	2.8	0.3	154
파(3)	6.1	7.6	37	1,339	2.1	11.3	5.3	1.0	196
부추(3)	5.8	5.2	51	1,213	2.6	14.2	3.8	0.8	287
파프리카(2)	6.5	9.9	27	1,596	3.0	17.6	5.4	1.2	145
메론(2)	6.7	8.6	41	1,199	4.0	16.5	6.3	1.5	133
곰취(2)	6.6	1.0	70	936	1.9	15.9	2.8	0.3	40
기타(16)	6.8	3.3	42	1,160	1.4	12.6	3.8	0.5	112
평균	6.5	4.8	40	1,240	1.9	13.3	3.9	0.7	157
적정범위	6.0~7.0	2.0이하	25~35	300~550	0.5~0.8	5.0~6.0	1.5~2.0		

표 17. 강원도 시설토양의 일반 화학성분 함량변화

구분	산도 (pH)	EC (dS/m)	유기물 (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	치환성양이온(cmol <sub>c</sub> /kg)				NO <sub>3</sub> -N (mg/kg)	
					K	Ca	Mg	Na		
표토	2004	6.4	2.8	33	1,214	1.7	9.0	3.1	0.4	164
	2008	6.3	2.0	33	1,179	1.4	8.8	2.5	0.4	89
	2012	6.2	2.9	36	1,359	2.0	12.2	3.9	1.1	244
	2016	6.5	4.8	40	1,240	1.9	13.3	3.9	0.7	157
심토	2004	6.1	1.7	28	974	1.1	7.2	2.3	0.3	91
	2008	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2012	6.2	1.3	24	924	1.1	8.6	2.6	0.8	78
	2016	6.4	2.7	30	1,038	1.4	10.7	3.0	0.6	110
적정범위	6.0~7.0	2.0이하	25~35	300~550	0.5~0.8	5.0~6.0	1.5~2.0			

칼슘 및 마그네슘은 각각 1.9, 13.3, 3.9 cmol<sub>c</sub>kg<sup>-1</sup> 이었다(표 14). pH는 적정범위 이내에 있었으나, EC, 유기물, 유효인산, 치환성칼륨, 치환성칼슘, 치환성마그네슘은 적정범위를 초과하였고, 적정범위 미달은 없었다(표 14). 강원도 시설재배토양의 화학성분 함량 수준별 분포비율은 표 15에 나타내었고, 강원도 시설재배토양의 작물별 토양 화학성(표토)은 표 16과 같다. 시설재배 토양의 양분함량 변동 및 부족 비율 현황을 표 17과 그림 8,9에 나타내었다. '16년 부족비율 pH(24%) > 유기물(19%) > 치환성 K(13%) > 치환성 Mg(11%) > 치환성 Ca(3%) > 유효인산(2%) 이었고, 과다

비율은 치환성 Ca(95%) > 유효인산(94%) > 치환성 Mg(83%) > 치환성 K(78%) > 유기물(55%) > pH(20%) 이었다.

강원도 시설재배토양 중금속 함량을 표 18에 나타내었다. 강원도 시설재배 토양 중금속 평균 값의 토양오염 우려기준치에 대한 비율(%)은 아연(41.4%) > 구리(21.1%) > 니켈(15.2%) > 카드뮴(5.0%) > 납(4.7%) > 비소(1.8%)로 우려기준보다 상당히 낮아 중금속에 대하여 매우 안전하다고 할 수 있다.

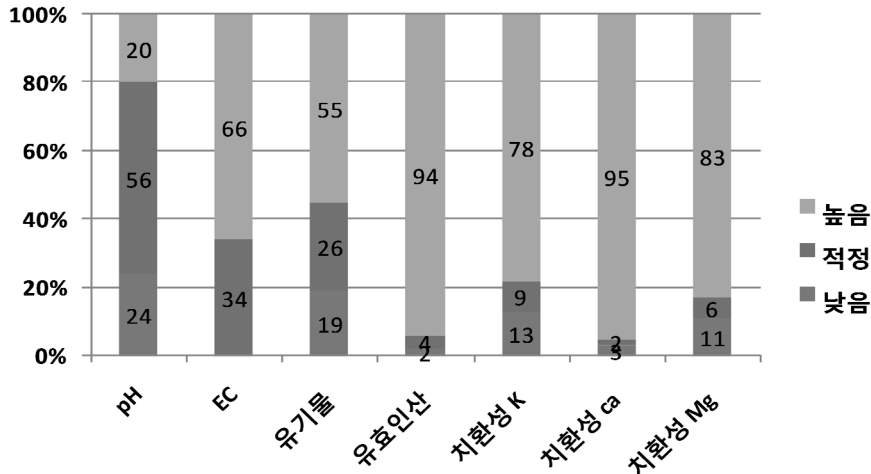
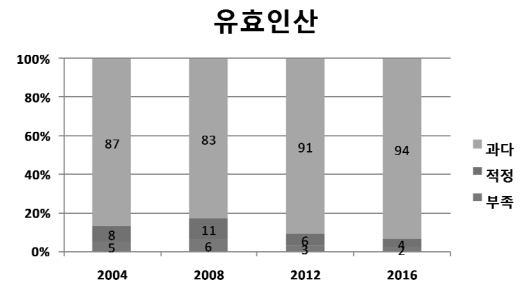
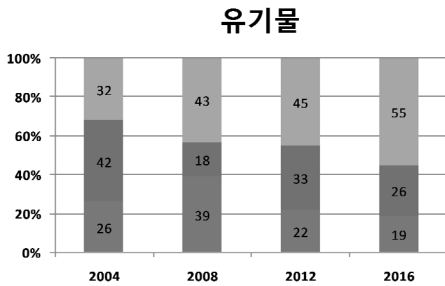
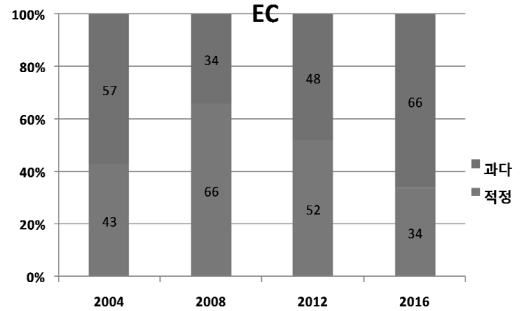
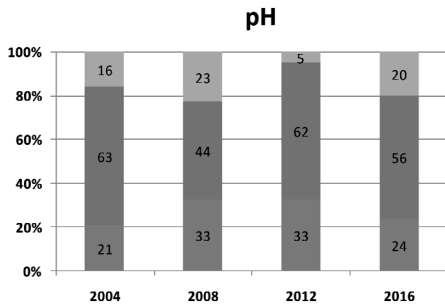


그림 8. 강원도 시설재배토양의 화학성분 적정수준에 따른 과부족율 (2016년)



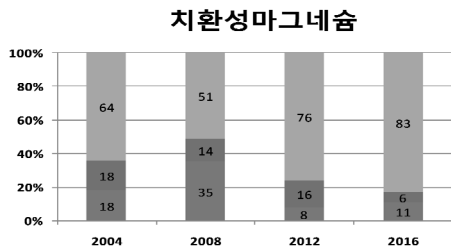
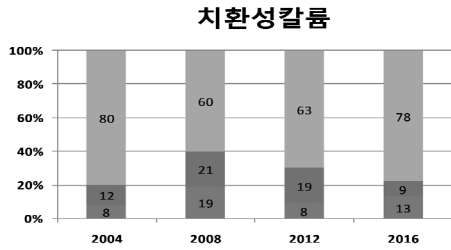


그림 9. 강원도 연차별 시설재배 토양의 화학성분 과부족을 변화

표 18. 시설재배 토양의 중금속 함량

(단위 : mg kg<sup>-1</sup>)

시군별	Cd	As	Ni	Cu	Pb	Zn	Cr <sup>†</sup>
춘천(14)	0.15	0.35	16.9	35.7	9.2	124.4	40.1
원주(8)	0.13	0.31	14.2	27.1	7.7	104.5	29.6
강릉(7)	0.10	0.20	14.4	15.7	6.5	85.7	32.4
동해(6)	0.26	0.80	16.7	31.7	11.9	99.0	32.8
태백(5)	0.26	0.38	22.3	49.2	12.1	140.1	49.1
속초(4)	0.26	0.60	21.6	39.5	8.4	164.0	47.8
삼척(4)	0.36	0.95	22.2	39.7	14.8	131.3	34.0
홍천(5)	0.15	0.40	12.0	25.1	18.7	119.0	21.9
횡성(7)	0.13	0.27	6.1	26.9	8.1	128.1	16.1
영월(4)	0.17	0.41	13.6	23.8	9.0	107.7	22.4
평창(7)	0.21	0.29	14.2	19.0	8.2	95.2	21.9
정선(2)	0.61	1.52	14.4	25.4	12.3	85.6	18.6
철원(5)	0.21	0.41	10.0	62.3	9.3	193.9	17.5
화천(3)	0.36	0.81	21.0	45.4	11.2	137.3	46.0
양구(4)	0.16	0.26	9.9	17.3	11.7	118.7	16.5
인제(4)	0.21	0.44	9.3	43.8	5.6	150.8	27.5
고성(7)	0.20	0.45	16.1	26.1	8.2	157.3	32.5
양양(4)	0.15	0.28	22.2	31.1	5.4	112.0	53.6
최대	0.74	1.79	32.9	77.9	25.7	254.1	89.2
최소	0.00	0.00	2.0	5.7	2.5	44.9	3.9
중앙	0.17	0.41	14.6	28.9	8.9	119.1	27.4
평균	0.20	0.44	15.2	31.7	9.3	124.2	31.4
평균/우려기준(%) <sup>†</sup>	5	1.8	15.2	21.1	4.7	41.4	
우려기준 <sup>§</sup>	4	25	100	150	200	300	
대책기준 <sup>§</sup>	12	75	300	450	600	900	

<sup>†</sup> 총함량 분석값

<sup>‡</sup> 토양환경 보전법상의 토양오염우려기준에 대한 비율(평균값/우려기준×100)

<sup>§</sup> 토양환경보전법상의 토양오염 우려 및 대책기준(환경부, 2010)

## (시험 2) 토양물리성 변동조사

우리나라의 토양물리적 특성 조사는 1984년 최초로 전국 단위의 정밀토양조사가 실시되었는데 조사 결과 점토 함량 20%, 유기물 2.03%, CEC 10.3 cmol+ kg<sup>-1</sup> 이었으며 분포면적 가중평균치는 점토 함량 18%, 유기물 1.85%, CEC 8.6 cmol+ kg<sup>-1</sup> 이었다(허 등, 1984). 이후 우리나라 농경지의 물리적 특성에 관한 연구는 지형별 논토양의 점토함량(현 등, 1989), 토성별 유효수분(정 등, 1990) 등의 연구가 있었으나 일부 지역에 한정된 것이고, 2010년 과수원 포장 35지점, 2011년과 2012년은 지점을 달리하여 논포장 각각 30점을 조사하였다. 여기에서는 강원도 농경지 토양의 물리적 특성을 파악하기 위하여 2013년 밭토양, 2014년 과수원토양, 2015년은 논토양 2016년은 시설재배토양으로 대상으로 각각 40지점을 조사하였다(표 1).

### 가) 강원도 밭토양의 물리성

표 19. 강원도 밭토양의 물리성 평균

조사 지점수	구분	작토심 (Ap층) (cm)	용적밀도 (Mg m <sup>-3</sup> )	삼상(%)			산중식경도 (mm)	유기물함량 (g kg <sup>-1</sup> )	중량수분함량 (% w/w)
				고상	액상	기상			
40 (13)	표토	18.5	1.31	49.3	19.4	31.4	12.5	24	15.0
	심토		1.49	56.1	23.8	20.1	15.8	13	16.2
적정 범위	표토	-	-	-	-	-	20~30	-	-
	심토	-	-	-	-	<20	-	-	-

표 20. 강원도 밭토양의 물리성 항목별 분포비율

항 목	구분	항목별 분포비율 (%)				
경 도 (mm)		≤10.0	10.1~15.0	15.1~20.0	20.1~25.0	>25.0
	표토	15	62.5	22.5	0	0
	심토	7.5	25	60	7.5	0
용적밀도 (Mg m <sup>-3</sup> )		≤1.00	1.01~1.20	1.21~1.40	1.41~1.60	>1.60
	표토	2.5	22.5	50	25	0
	심토	0	5	15	57.5	22.5
유기물 함량 (g kg <sup>-1</sup> )		0~10	10.1~20	20.1~30	30.1~40	>40.1
	표토	12.5	35	27.5	12.5	12.5
	심토	52.5	22.5	20	2.5	2.5

강원도 밭토양의 물리성 조사 결과를 표 19와 20에 나타냈다. 평균 작토심은 18.5cm, 경도는 표토 12.5mm, 심토에서 15.8mm 이었다. 표토의 용적밀도는 1.31g cm<sup>-3</sup>, 심토는 1.49g cm<sup>-3</sup> 범위가 었다. 토양 삼상은 표토는 고상, 액상, 기상이 각각 49.3, 19.4, 31.4%이었고, 심토의 경우는 고상, 액상, 기상의 비율이 각각 56.1, 23.8, 20.1%로 조사되었다.

나). 과수원 토양 물리성

과수원 토양의 물리성을 조사하기 위하여 토양화학성 분석지점에서 토양통, 지형 등 토양특성을 고려하여 선정한 40지점의 표토와 심토의 물리성을 표 21와 22에 나타내었다. 토양통별 시료채취 내역은 18개 토양통(강릉 2, 고천 2, 고평 3, 덕천 4, 무이 1, 반곡 1, 부곡 1, 삼각 6, 상주 4, 석천 2, 석토 1, 안릉 2, 연곡 2, 예산 2, 우곡 1, 월정 1, 중동 3, 화동 1, 기타 1)이었으며, 과수원 토양의 평균 작토심은 28cm, 경도는 표토 14.2mm, 심토에서 15.8mm, 표토의 용적밀도 1.29 (0.91~1.65)g cm<sup>-3</sup>, 심토는 1.43(1.15~1.68)g cm<sup>-3</sup> 범위이었다(표 22). 경도는 표토에서 10.1~15.0 mm 범위가 52.5%이었으며 심토의 경우 15.1~20.0 mm 범위가 45%를 차지하였다. 용적밀도의 경우 표토는 1.01~1.20 Mg m<sup>-3</sup> 와 1.21~1.40 Mg m<sup>-3</sup>이 32.5%를 심토는 1.41~1.60 Mg m<sup>-3</sup> 이 55%를 차지하였다(표 22).

표 21. 강원도 과수원토양의 물리성 평균

조사 지점수	구분	작토심 (Ap층) (cm)	용적밀도 (Mg m <sup>-3</sup> )	삼상(%)			산중식경도 (mm)	유기물함량 (g kg <sup>-1</sup> )	중량수분함량 (% w/w)
				고상	액상	기상			
40 ('14)	표토	28	1.29	48.8	25.7	25.5	14.2	34.9	20.7
	심토		1.43	54.0	24.1	21.9	15.8	18.4	17.1
적정 범위	표토	-	-	-	-	-	20~30	-	
	심토	-	-	-	-	<20	-	-	

표 22. 강원도 과수원토양의 물리성 항목별 분포비율

항 목	구분	항목별 분포비율				
경 도 (mm)	범위	≤10.0	10.1-15.0	15.1-20.0	20.1-25.0	>25.0
	표토	7.5	52.5	35.0	5.0	0
	심토	5	35	45	15	0
용적밀도 (Mg m <sup>-3</sup> )	범위	≤1.00	1.01-1.20	1.21-1.40	1.41-1.60	>1.60
	표토	5	32.5	32.5	27.5	2.5
	심토	0	5	32.5	55	7.5
유기물 함량 (g kg <sup>-1</sup> )	범위	0-10	10.1-20	20.1-30	30.1-40	>40.1
	표토	0	12.5	30.0	22.5	35.0
	심토	10	57.5	22.5	10	0

다) 논토양 물리성

강원도 논토양의 물리성 조사 결과를 표 23, 24 및 그림 10에 나타냈다. 2015년 논토양의 작토심은 16.1cm 이었으며 표토의 용적밀도는  $1.31 \text{ Mg m}^{-3}$  이었으며 심토는  $1.56 \text{ Mg m}^{-3}$  이었다. 토양경도는 표토 10.2mm, 심토 16.4mm 이었으며 유기물함량은 표토  $21 \text{ g kg}^{-1}$ , 심토  $17 \text{ g kg}^{-1}$  이었다(표 23). 강원지역 논토양의 토성분포는 40지점 가운데 표토의 경우 사양토 16지점, 양토 14지점, 미사질양토 4지점 이었으며 심토의 경우 사양토 19지점, 양토 12지점, 미사질식양토 4지점으로 많이 분포 되어 있었다(그림 10). 강원지역 표토의 용적밀도는 평균  $1.31 \text{ Mg m}^{-3}$ 으로  $1.21 \sim 1.40 \text{ Mg m}^{-3}$ 이 24지점으로 60.0%이었으며  $1.01 \sim 1.20 \text{ Mg m}^{-3}$ 과  $1.41 \sim 1.60 \text{ Mg m}^{-3}$ 이 각각 8지점으로 20.0%를 차지하고 있었으며 심토의 경우 평균이  $1.56 \text{ Mg m}^{-3}$ 으로  $1.41 \sim 1.60 \text{ Mg m}^{-3}$ 이 21지점으로 52.5%이었으며  $1.61 \sim 2.00 \text{ Mg m}^{-3}$ 이 16지점으로 40%를 차지하였다(그림 11). 표토의 평균경도는 10.2mm로 10mm 이하가 22지점으로 55%를 10.1~15.0mm 가 14지점으로 35.0%를 차지하였으며 심토의 경우 평균 16.4mm로 10.1~15.0이 13지점으로 32.5%를 15.1~20.0mm 가 26지점으로 65%를 차지하였다(그림 12).

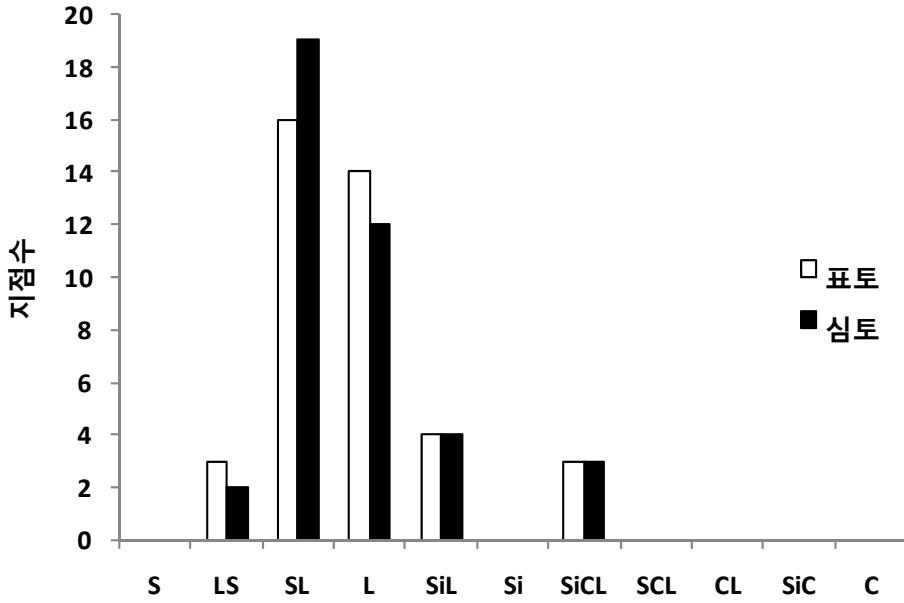
표 23. 강원도 논토양 물리성 평균

구분	지점수	작토심 (cm)	용적밀도 ( $\text{Mg m}^{-3}$ )	삼 상(%)			산중식경도 (mm)	유기물함량 ( $\text{g kg}^{-1}$ )	
				고상	액상	기상			
'15년 평균	표토	각 40	16.1	1.31	49.5	37.2	13.3	10.2	21.0
	심토			1.56	58.5	35.8	5.4	16.4	17.2
적정 범위	표토		-	-	-	-	-	25~30	
	심토		<1.40	-	-	-	<20	-	

표 24. 강원도 논토양 모래 미사 점토의 평균치(%)

구분	모래	미사	점토
표 토	48.6	39.1	12.3
심 토	49.5	37.5	13.0

한편 논토양의 물리성과 수량성에 관한 연구(권 등, 1995)를 보면 벼의 뿌리가 잘 신장할 수 있는 작토 하부의 적정 경도는 15~20이고, 경도 17 mm 이하에서는 수량에 거의 영향이 없고, 경도 23 mm 이상에서는 수량이 현저히 제한되고 감수정도도 25% 이상이 된다고 보고된 바 있다. 또한 유아와 유근의 길이는 토양 경도의 증가에 따라 감소하며, 유아의 굵기는 토양경도의 증가에 따라 굵어지는 경향이 있다고 보고하였다. 따라서, 강원도 논토양의 물리성은 대체로 양호한 것으로 사료된다.



주) S:사토, LS:양질사토, SL:사양토, L:양토, SiL:미사질양토, Si:미사토, SiCL: 미사질식양토, SCL:사질식양토, CL:식양토, SC:사질식토, SiC:미사질식토, C:식토

그림 10. 강원도 논토양 토성(USDA) 분포

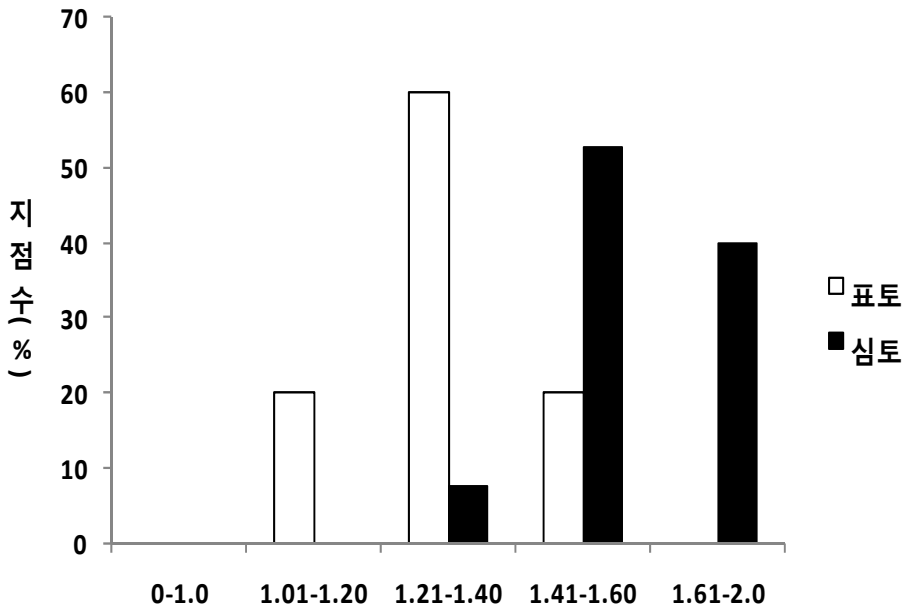


그림 11. 강원도 논토양의 용적밀도 분포 (%)

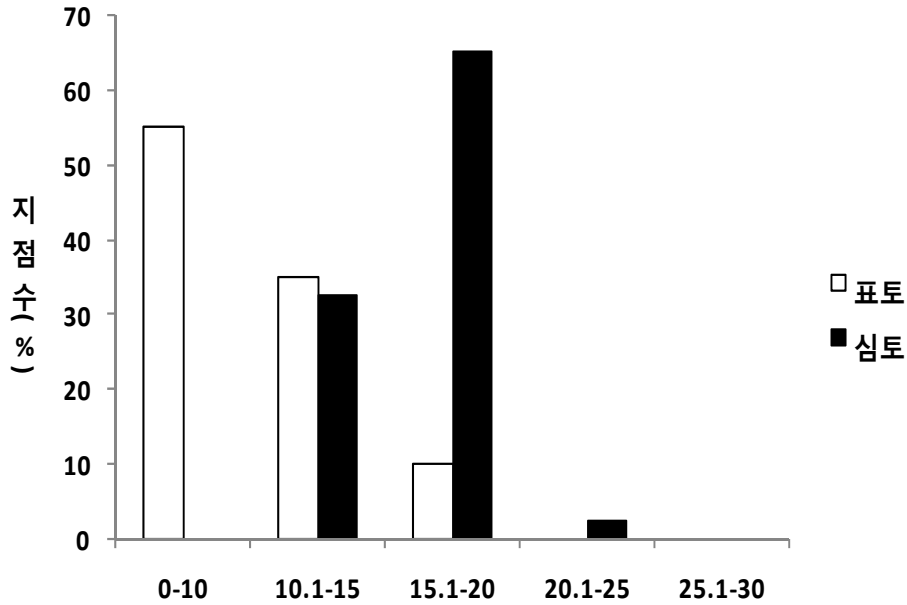


그림 12. 강원도 논토양의 경도 분포 (%)

라) 시설재배토양 물리성

강원도 시설재배토양의 물리성 조사 결과를 표 25, 26 및 그림 13에 나타냈다. 2016년 시설재배토양의 작토심은 23.7cm 이었으며 표토의 용적밀도는 1.03 Mg m<sup>-3</sup> 이었으며 심토는 1.38 Mg m<sup>-3</sup> 이었다. 토양경도는 표토 3.7mm, 심토 11.6mm 이었으며 유기물함량은 표토 32 g kg<sup>-1</sup>, 심토 39 g kg<sup>-1</sup> 이었다(표 25). 강원도 시설재배 토양의 토성분포는 40지점 가운데 표토의 경우 사양토

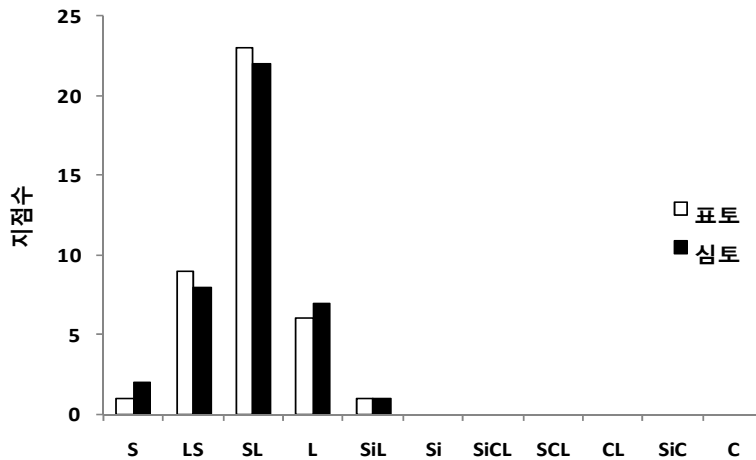
표 25. 강원도 시설재배토양 물리성 평균

구분	지점수	작토심 (cm)	용적밀도 (Mg m <sup>-3</sup> )	삼 상(%)			산중식경도 (mm)	유기물함량 (g kg <sup>-1</sup> )	
				고상	액상	기상			
'16년 평균	표토	각 40	23.7	1.03	38.9	26.7	34.4	3.7	32.0
	심토								
적정 범위	표토	-	-	-	-	-	-	-	25~35
	심토	-	<1.40	-	-	-	<20	-	-

표 26. 강원도 시설재배토양 모래 미사 점토의 평균치

구분	모래	미사	점토
표토	62.6	31.7	5.7
심토	62.1	31.8	6.1

23지점, 양질 사토 9지점, 양토 6지점, 미사질양토 1지점, 사토 1지점이었으며 심토의 경우 사양토 22지점, 양질사토 8지점, 양토 7지점, 사토, 2지점, 미사질양토 1지점으로 많이 분포 되어 있었다(그림 13). 강원지역 표토의 용적밀도는 평균  $1.03 \text{ Mg m}^{-3}$ 으로  $1.01\sim 1.20 \text{ Mg m}^{-3}$ 이 18지점으로 45%이었으며  $1.00 \text{ Mg m}^{-3}$  이하가 17지점으로 42.5%,  $1.21\sim 1.40 \text{ Mg m}^{-3}$ 이 5지점으로 12.5%를 차지하고 있었으며, 심토의 경우 평균이  $1.38 \text{ Mg m}^{-3}$ 으로  $1.21\sim 1.40 \text{ Mg m}^{-3}$  과  $1.41\sim 1.60 \text{ Mg m}^{-3}$ 이 각각 13지점으로 32.5%이었으며,  $1.61\sim 2.00 \text{ Mg m}^{-3}$ 이 6지점으로 15%를 차지하였다(그림 14) 표토의 평균 경도는  $3.7\text{mm}$ 로  $5\text{mm}$  이하가 28지점으로 70%를  $10.1\sim 15.0\text{mm}$ 가 7지점으로 25%를 차지하였으며, 심토의 경우 평균  $11.6\text{mm}$ 로  $10.1\sim 15.0\text{mm}$ 이 25지점으로 62.5%를  $5.1\sim 10.0\text{mm}$  가 10지점으로 25%를 차지하였다(그림 15).



주) S:사토, LS:양질사토, SL:사양토, L:양토, SiL:미사질양토, Si:미사토, SiCL: 미사질식양토, SCL:사질식양토, CL:식양토, SC:사질식토, SiC:미사질식토, C:식토

그림 13. 강원도 시설재배토양 토성(USDA) 분포

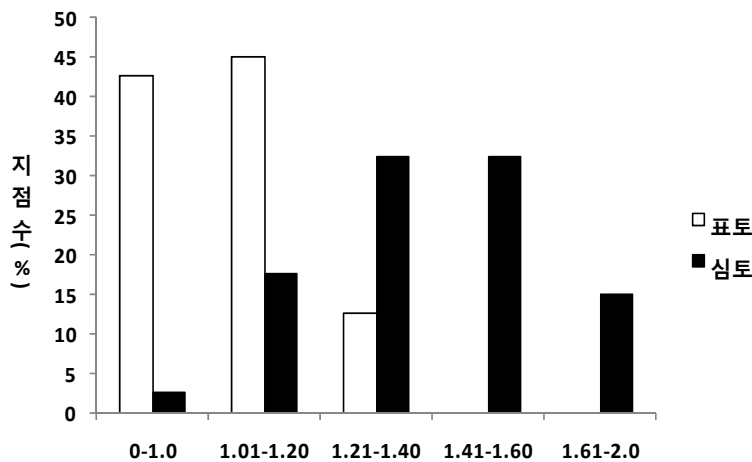


그림 14. 강원도 시설재배토양의 용적밀도 분포 (%)

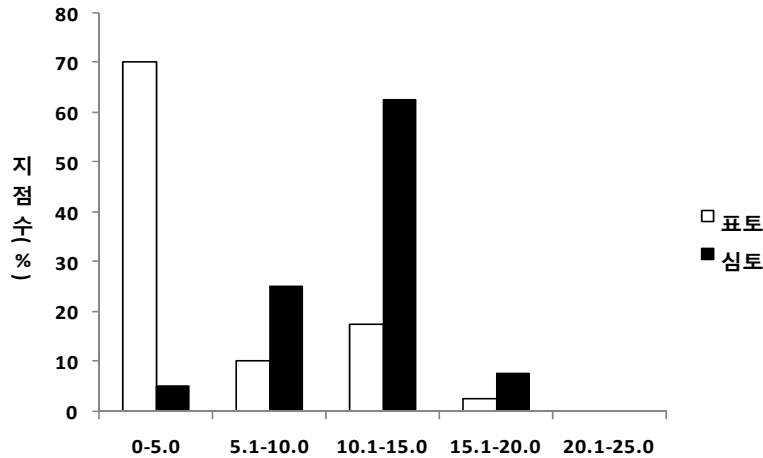


그림 15. 강원도 시설재배토양의 경도 분포 (%)

## 〈제2세부과제 : 강원 일반농경지 미생물 분포 및 농업용수 수질조사〉

### (시험1) 강원 일반농경지 미생물 분포조사

토양미생물은 토양 생태계에서 중요한 부분을 차지한다. 즉 토양미생물은 토양내 유기물 분해, 토양내 영양물질 순환, 작물이 이용할 수 있는 형태로 영양원 변환 등 중요한 역할을 한다. 따라서 토양미생물의 밀도와 활성은 토양건정성 변화에 대한 우수한 지표로 활용될 수 있다. 토양은 종 다양성과 군집의 크기면에서 매우 복잡한 미생물 환경이다. 토양미생물 군집은 토양 대부분의 양분 순환에 관여하고, 식물의 다양성과 생산성에 영향을 미치기 때문에 농업 관리 시스템 중 가장 중요한 요인 중의 하나이다. 따라서 토양미생물의 다양성을 파악하기 위하여 많은 노력에도 불구하고 아직 미지의 영역으로 남아있는 실정이다. 토양미생물의 생육특성, 기능 등을 파악하기 위해서는 토양에서 순수분리 및 배양이 가능해야 하지만 현재 토양환경에서 배양 가능한 미생물은 1% 정도인 것으로 알려지고 있다. 따라서 고전적인 선택배지에 의한 미생물의 분리 및 배양하여 미생물의 종과 특성을 파악하는 방법에는 많은 제한이 있다. 본 연구는 우리도 농경지 토양의 미생물 군집의 다양성과 우점 미생물의 분포를 파악하고자 토양에서 Metagenomic DNA를 추출하여 16S rRNA를 지표로 Sequencing하여 유전자 정보 분석을 통하여 토양군집에서 Pyrosequencing 기법으로 토양의 미생물학적 기준 자료를 제시하였고 토양 미생물체량과 토양 탈수소효소 활성을 분석하였다.

#### 가) 강원지역 농경지 토양의 미생물체량 및 탈수소효소활성

강원지역 농경지 토양의 미생물의 총량을 의미하는 미생물체량(Biomass C)은 토양비옥도 지표로 활용되는데 실제로 토양 중 유기물 분해에 관여하는 미생물 군수와 미생물체량(Biomass C)는 정의 상관관계가 있다고 보고된 바 있다(국립농업과학원 2009). 또한 토양 탈수소효소(Soil dehydrogenase) 활성은 토양 건전성 지표의 하나로 조사되었다(표 27).

2013년 조사된 밭토양의 미생물체량은 19~386 mg kg<sup>-1</sup>의 분포로 평균 138mg kg<sup>-1</sup>이었고, 토양

탈수소효소 활성은 평균 47 ugTPF g<sup>-1</sup>24h<sup>-1</sup>로 조사되었다. 과수원 토양의 미생물체량은 14~393 mg kg<sup>-1</sup>의 분포로 평균 233mg kg<sup>-1</sup>이었고, 토양 탈수소효소 활성은 평균 24 ugTPF g<sup>-1</sup>24h<sup>-1</sup>로 조사되었다. 논토양(2015)의 미생물체량은 152~1,029 mg kg<sup>-1</sup>의 분포로 평균 362mg kg<sup>-1</sup>이었고, 토양 탈수소효소 활성은 평균 47 ugTPF g<sup>-1</sup>24h<sup>-1</sup>이었고, 2016년에 조사한 시설재배지 토양의 미생물체량은 112~626 mg kg<sup>-1</sup>의 분포로 평균 335mg kg<sup>-1</sup>이었고, 토양 탈수소효소 활성은 평균 82 ugTPF g<sup>-1</sup>24h<sup>-1</sup>이었다.

표 27. 강원지역 논토양의 미생물체량 및 탈수소효소활성

구분	미생물체량(C mgkg <sup>-1</sup> )			탈수소효소활성(μgTPFg <sup>-1</sup> 24h <sup>-1</sup> )		
	평균	최소	최대	평균	최소	최대
시설재배지(16)	335	112	626	82	15	263
논토양(15)	362	152	1,029	120	18	343
과수원토양(14)	233	14	393	24	4	57
밭토양(13)	138	19	386	47	9	247

나) 강원지역 시설재배지 토양의 세균 우점 문(phylum)의 상대 풍부도(%)

강원지역 농경지 토양에 존재하는 미생물 분포를 Pyrosequencing 기법을 이용하여 조사한 문 수준의 세균 분포를 표 31에 나타내었다. 밭토양(2013)의 세균 우점문 비율은 *Proteo-bacteria*문이 35.1%로 가장 많이 분포하였고, *Actino-bacteria* 20.1%, *Acido-bacteria* 8.0%, *Bacteroidetes* 7.3% 순으로 조사되었다. 2014년은 과수원 토양을 대상으로 조사하였는데 *Proteo-bacteria*문이 37.1%로 가장 많이 분포하였고, *Actino-bacteria* 16.9%, *Acido-bacteria* 12.4%, *Bacteroidetes* 5.4%순 이었다. 논토양은(2015)은 *Proteo-bacteria* 29.6%, *Chloro-flexi* 15.2%, *Actino-bacteria* 14.2%, *Acido-bacteria* 6.1%, *Bacteroidetes* 4.1% 이었고, 2016년에 조사된 시설재배지 토양의 세균 우점문의 상대 풍부도는 *Proteo-bacteria*문이 39.9%로 가장 많이 분포하였고, *Actino-bacteria* 14.6%, *Bacteroidetes* 9.6%, *Acido-bacteria* 7.8%순 이었다. 강원지역 농경지 토양은 *Proteo-bacteria*문이 가장 많았고, 특히 논토양에서 *Chloro-flexi*문이 많이 존재하였는데 이는 농경지별 토양관리 방법과 재배법의 특성 차이에 의한 것으로 판단된다.

표 28. 강원지역 시설재배지 토양의 세균 우점 문(phylum)의 상대 풍부도(%)

구분	<i>Proteo-bacteria</i>	<i>Chloro-flexi</i>	<i>Acido-bacteria</i>	<i>Actino-bacteria</i>	<i>Bacteroidetes</i>
시설재배지(16)	39.9		14.6	7.8	9.6
논토양(15)	29.6	15.2	14.2	6.1	4.1
과수원토양(14)	37.1		16.9	12.4	5.4
밭토양(13)	35.1		20.1	8.0	7.3

다) 강원지역 시설재배지 토양의 중 풍부도 추정치 및 다양성 지수

토양은 매우 복잡한 미생물 환경이며 토양미생물은 작물의 생산성에 영향을 미치기 때문에 농업 관리시스템에 중요한 요인이다. 따라서 토양미생물의 다양성을 파악하기 위한 많은 노력에도 불구하고 아직 미지의 영역으로 남아있는 실정이다. 표 29는 분자유적학적 기법인 Pyrosequencing을 이용하여 강원지역 농경지토양의 미생물 중 풍부도와 다양성 지수를 분석한 결과이다. 2013년에 조사된 밭토양의 평균 중 풍부도 추정치는 Ace 1,234, Chao 1,945이었고, 다양성지수는 Shannon 지수는 5.9, Invsimpson 304이었고, 과수원토양(2014)의 평균 중 풍부도 추정치는 Ace 1,435, Chao 1,024이었고, 다양성지수는 Shannon 지수는 5.7, Invsimpson 244이었다. 2015년에는 논토양이었는데 평균 중 풍부도 추정치는 Ace 4,129, Chao 2,242이었고, 다양성지수는 Shannon 지수는 6.3, Invsimpson 602이었으며, 시설재배지 토양(2016)의 평균 중 풍부도 추정치는 Ace 2,263, Chao 1,383, 다양성지수는 Shannon 지수는 5.9, Invsimpson 344이었다. 논토양에서 미생물 중 풍부도 및 다양성지수가 높았는데 이는 호기성 미생물과 혐기성 미생물 등 다양한 미생물의 서식이 가능했던 것으로 판단된다.

표 29. 강원지역 농경지 토양의 중 풍부도 추정치 및 다양성 지수

구 분	중풍부도 추정치		다양성 지수	
	Ace	Chao	Shannon	Invsimpson
시설재배지(16)	2,263	1,383	5.9	344
논토양(15)	4,129	2,242	6.3	602
과수원토양(14)	1,435	1,024	5.7	244
밭토양(13)	1,234	1,945	5.9	304

(시험 2) 농업용수 수질조사

우리나라의 농업용수 수질에 대한 연구는 1990년대에 농촌지역의 도시화로 수질이 악화되면서 시작되었다. 김(1991)이 농업환경보전대책에 관한 발표를 시작으로, 이(1995)는 지속적 농업과 환경 보전을 위한 농업용수 보전방안을 제시하였고, 농업용수 및 농경지를 중심으로 한 환경오염의 실태와 대책을 논의하였다. 본 연구는 친환경농업육성법(1999년)에 근거하여 우리도 농업용 하천수 및 지하수를 4년간 조사한 결과이다.

가) 농업지대 농업용 하천수의 수질

농업용수의 건전성 확보는 농작물의 안전성 확보와도 직결되고 또한 최근 친환경농산물의 인증을 위해서도 농업용수 수질의 적합성이 필수적 요소이며, 작물생육에도 필요한 요소라 하겠다. 농업용 하천수는 강원지역 18시군 주요 농업지대를 경유하는 소하천 34지점에서 연 3회 주기적으로 시료를 채취하여 분석하였고 2016년 하천수 수질을 조사한 결과는 표 33과 같다. 우리도 농업용 소하천의 평균 pH는 7.7로 약알카리성을 나타내고 있었는데, 일반적으로 용수의 pH는 쌀 수확량에 영향을 주는 것으로 알려지고 있으며 pH의 최대허용농도는 용량반응평가에 의해 6.0~8.5로 산출하였다

(농림부, 2004). DO(용전산소)는 10.1mg/L 수준으로 농업용수 수질기준인 2.0 mg/L를 만족하였고, BOD(생화학적 산소요구량)는 0.9 mg/L 수준으로 농업용수 수질기준 8.0 mg/L에 비하여 매우 낮은 수준이었고, COD<sub>Mn</sub>은 2.4mg/L, SS는 2.7 mg/L로 각각 농업용수 수질기준 9.0mg/L, 100 mg/L에 적합하였다. 시료 채취 분석 시기별로 큰 차이는 없었다.

표 31은 2016년에 조사한 농업용 하천수(34지점, 3회) 수질을 주요 조사항목별 농업용수 수질 기준 초과율로 나타내었다. DO, BOD, COD<sub>Mn</sub>, SS는 100% 농업용수 수질기준을 만족하였고, pH와 T-P는 기준 초과지점이 각각 3.9%, 2.0%이었다. 특히 pH의 경우 영월 등 석회암 지대를 경유하는 하천에서 기준을 초과하는 것으로 나타났다.

표 30. 농업지대내 소하천의 시기별 수질 현황(2016) (단위 : mg/L)

시기	pH	EC (dS m <sup>-1</sup> )	DO	BOD	COD <sub>Mn</sub>	NH <sub>4</sub> -N	T-N	T-P	SS	Ca	K	Mg	Na
4월	7.9	0.18	10.9	1.4	2.3	0.02	2.72	0.03	2.7	17.6	3.15	4.35	8.78
7월	7.6	0.18	8.2	0.6	2.7	0.04	3.35	0.06	4.8	18.4	2.56	4.18	7.31
10월	7.7	0.21	11.3	0.8	2.1	0.02	3.04	0.04	0.7	21.1	0.22	4.85	8.81
평균	7.7	0.19	10.1	0.9	2.4	0.03	3.04	0.04	2.7	19.0	1.98	4.46	8.30

표 31. 농업용 하천수 수질기준 초과율(2016) (단위 : %)

시 기	pH	DO	BOD	COD <sub>Mn</sub>	T-P	SS
4 월	8.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7 월	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0
10 월	2.9	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0
평균	3.9	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0
기 준	6.0~8.5	2.0 ≤	≤ 8.0	≤ 9.0	≤ 0.3	≤ 100

표 32은 2013~2016년까지 최근 4년 간 우리도 농업용 하천수의 수질 현황을 정리하여 나타내었다. pH는 평균 7.5~7.7의 분포를 보였고, BOD는 0.9~1.3 mg/L, COD<sub>Mn</sub>은 1.3~2.4 mg/L, SS는 0.0~2.7 mg/L의 분포로 환경농업정책법의 농업용수 수질기준에 적합하였고 수질의 일반 지표인 pH, DO, T-P, SS 등은 큰 변동이 없었다. 특히 하천수의 중요한 지표인 BOD의 경우 농업용 소하천의 수질은 2급수(BOD 1~3) 수준이 유지되고 있음을 알 수 있었다.

최근 4년 간(2013~2016) 조사된 농업용 하천수에 대한 주요지표의 농업용수 수질기준 초과율을 표 33에 정리하였다. pH는 2013, 2014, 2015, 2016년에 각각 2.9, 2.0, 3.9, 3.9%가 초과되었고, T-P는 2014, 2015, 2016년에 각각 1.0%, 2.9, 2.0%가 초과되었으며, 다른 조사항목은 초과하는 지점이 없었다.

표 32. 연도별 하천수 수질변동 현황

(단위 : mg/L)

연 도	조사점수	pH	DO	BOD	COD <sub>Mn</sub>	T-P	SS
2013	34	7.5	9.0	1.3	1.6	0.26	0.2
2014	34	7.6	9.2	1.3	1.3	0.04	0.0
2015	34	7.7	10.2	1.0	1.7	0.06	0.0
2016	34	7.7	10.1	0.9	2.4	0.04	2.7
수질기준*		6.0~8.5	2이상	8	9	0.3	100
농작물 피해기준		< 5.0, 8.5 <	-	-	50(COD <sub>cr</sub> ) <	-	-

\* 수질기준: 농업용수 수질기준(환경정책기본법, 생활환경기준 IV등급)

표 33. 농업용 하천수 농업용수 수질기준 초과율

(단위 : %)

시 기	pH	DO	BOD	COD <sub>Mn</sub>	T-P	SS
2013	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2014	2.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0
2015	3.9	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0
2016	3.9	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0
기 준	6.0~8.5	2.0 ≤	≤ 8.0	≤ 9.0	≤ 0.3	≤ 100

나) 농업용 지하수의 수질

영농형태별로 논, 밭, 시설재배에 사용되는 지하수 각각 5, 5, 10지점 등 총 20지점을 2016년 2회(4월, 7월) 채취, 분석한 결과는 표 34와 같다.

표 34. 영농형태별 농업용 지하수 수질 현황(2016)

(단위 : mg L<sup>-1</sup>)

영농형태	pH	EC (dS m <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> -N	Cl <sup>-</sup>	Ca	K	Mg	Na
논	6.6	0.30	4.97	28.05	29.84	2.64	5.66	14.74
밭	6.8	0.34	8.20	13.38	42.14	2.99	8.78	8.26
시설재배	7.1	0.31	5.65	20.02	37.32	2.94	7.34	9.24
평균	6.8	0.32	6.27	20.49	36.43	2.90	7.24	10.74

pH는 6.8 로 약산성이었고, EC는 0.32 dS/m, Cl<sup>-</sup>은 20.49 mg/L이었으며, 지하수 수질의 가장 중요한 지표인 질산성질소(NO<sub>3</sub>-N)는 6.27 mg/L로 지하수 중의 질산성질소 기준인 20mg/L에는 크게 미치지 않는 것으로 조사되었고, 음용수 수질기준인 10mg/L에도 미치지 않는 수준으로 나타났다. 그리고 지하수의 질산성질소의 농도는 밭> 시설재배지> 논 순으로 조사되었다.

표 35은 2016년도에 조사한 농업용 지하수(20지점, 2회) 수질을 주요 조사항목별 지하수 수질 기준 초과율로 나타내었다. 염소이온(Cl<sup>-</sup>)과 질산성 질소(NO<sub>3</sub>-N)는 농업용수 수질기준에 적합하였고, pH는 5.0%가 지하수 수질기준을 초과하였으나, 특정 유해물질인 카드뮴, 비소, 납, 수은 등은 모두 수질기준 미만이거나 검출되지 않았다.

표 35. 농업용 지하수 수질기준 초과율(2016)

(단위 : %)

영농형태	pH	NO <sub>3</sub> -N	Cl <sup>-</sup>	Cd	As	Pb	Hg
논	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
밭	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
시설재배	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
평균	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
기준	6.0~8.5	≤ 20	≤ 250	≤ 0.01	≤ 0.05	≤ 0.1	ND

표 36은 2013~2016년까지 최근 4년 간 우리도 농업용 지하수의 수질 현황을 정리하여 나타내었다. pH는 평균 6.8~7.0의 분포를 보였고, 질산성질소(NO<sub>3</sub>-N)은 4.92~6.27 mg/L, EC는 0.24~0.32 mg/L, 염소이온(Cl<sup>-</sup>)은 12.74~20.49 mg/L 수준이었고 연차별 변동이 거의 없었으며 농업용지하수 수질 기준을 만족하였다.

표 36. 연도별 지하수 수질변동 현황

(단위 : mg/L)

연도	조사점수	pH	EC (dS m <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> -N	Cl <sup>-</sup>
2013	20	7.0	0.24	5.72	12.74
2014	20	7.0	0.25	4.92	16.43
2015	20	6.8	0.28	5.35	15.83
2016	20	6.8	0.32	6.27	20.49

※ 수질기준 : 농업용수 수질기준(환경정책기본법, 생활환경기준 IV등급)

최근 4년 간(2013~2016) 조사된 농업용 지하수 전수에 대한 주요지표의 농업용수 수질기준 초과율을 표 37에 정리하였다. pH는 2015, 2016년에 각각 2.5, 5.0%가 초과되었고, 지하수 오염의 가장 중요한 지표인 질산성 질소(NO<sub>3</sub>-N)는 2013년에만 2.5%가 초과하였다.

표 37. 농업용 지하수 수질기준 초과율

(단위 : %)

연도	pH	NO <sub>3</sub> -N	Cl <sup>-</sup>	Cd	As	Hg
2013	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2015	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2016	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
기준	6.0~8.5	≤ 20	≤ 250	≤ 0.01	≤ 0.05	ND

## 4. 적 요

<제1세부과제 : 강원 일반농경지 토양화학성 및 물리성 변동조사>

### (시험 1) 토양화학성 변동조사

가. 밭토양의 평균 화학성은 pH 6.5, 유기물 26 g kg<sup>-1</sup>, 유효인산 675 mg kg<sup>-1</sup>이었고, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 0.82, 5.7, 1.4 cmol<sub>c</sub>kg<sup>-1</sup> 이었다. pH와 유기물, 치환성

칼슘은 적정범위를 만족하였으나 치환성 마그네슘은 적정범위 미만이었으며, 유효인산과 치환성 칼륨은 적정범위를 초과하였다. 토양 pH는 적정 범위보다 낮은 지점이 많았으나, 높은 지점의 비율이 증가하였다. 유기물의 부적합 필지는 조사가 시작된 2001년보다 부족한 지역이 감소하였고, 많은 지점이 증가하였다. 유효인산은 과다한 지점이, 치환성 Mg은 부족한 지점이 많은 경향을 나타냈다. 일반농경지 발토양 평균 중금속 함량은 환경오염 기준에 크게 미치지 못해 강원도에서 생산된 농작물은 중금속 오염으로부터 안전함을 알 수 있다.

- 나. 과수원토양의 평균 화학성은 pH 6.2, 유기물 38 g kg<sup>-1</sup>, 유효인산 804mg kg<sup>-1</sup>이었고, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 1.41, 8.0, 2.3 cmol<sub>c</sub>kg<sup>-1</sup> 이었고, LR은 149 이었다. pH와 EC는 적정범위를 만족하였으나, 유효인산과 치환성 칼륨, 치환성 칼슘은 적정범위를 초과하였다. 연차별 과수원 토양의 화학성분 과부족을 변화를 보면 토양 pH는 적정 범위보다 높은 지점의 비율이 증가하였고, 유기물은 부족한 지역이 감소하고, 과다한 지점이 증가하였다. 80 지점중 중금속 우려기준을 초과하는 필지는 없었고, 중금속 함량은 환경오염기준 보다 크게 낮았다.
- 다. 논토양의 평균 화학성은 pH 5.9, 유기물 22 g kg<sup>-1</sup>, 유효인산 123mg kg<sup>-1</sup>이었고, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 0.39, 4.8, 0.9 cmol<sub>c</sub>kg<sup>-1</sup> 이었다. pH, 유기물, 유효인산은 적정범위 이내에 있었으며, 치환성칼륨은 적정범위를 초과 하였고, 치환성칼슘과 마그네슘은 적정범위에 미달되었다. 논토양 일반 화학성 변화는 pH와 유기물 평균은 적정범위에 있었고, 유효인산은 적정범위 미달에서 적정범위 안에 들었다. 토양중금속은 폐광산에 위치해 취약농경지로 전환이 요구되는 1곳을 제외하고는 환경오염기준 보다 크게 낮았다.
- 라. 시설재배토양의 평균 화학성은 pH 6.5, 유기물 40 g kg<sup>-1</sup>, 유효인산 1,240mg kg<sup>-1</sup>이었고, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 1.9, 13.3, 3.9 cmol<sub>c</sub>kg<sup>-1</sup> 이었다. pH는 적정범위 이내에 있었으나, EC, 유기물, 유효인산, 치환성칼륨, 치환성칼슘, 치환성마그네슘은 적정범위를 초과하였고, 적정범위 미달은 없었다. 시설재배 토양 중금속 평균값의 토양오염 우려기준치에 대한 비율(%)은 아연(41.4%) > 구리(21.1%) > 니켈(15.2%) > 카드뮴(5.0%) > 납(4.7%) > 비소(1.8%)로 우려기준보다 상당히 낮아 중금속에 대하여 매우 안전하다고 할 수 있다.

## (시험 2) 토양물리성 조사

- 가. 발토양의 평균 작토심은 18.5cm, 경도는 표토 12.5mm, 심토에서 15.8mm 이었다. 표토의 용적밀도는 1.31g cm<sup>-3</sup>, 심토는 1.49g cm<sup>-3</sup>이었다. 토양 삼상은 표토는 고상, 액상, 기상이 각각 49.3, 19.4, 31.4%이었고, 심토는 각각 56.1, 23.8, 20.1%로 조사되었다.
- 나. 과수원토양의 평균 작토심은 28.0cm, 경도는 표토 14.2mm, 심토에서 15.8mm, 표토의 용적밀도 1.29g cm<sup>-3</sup>, 심토는 1.43g cm<sup>-3</sup> 이었다. 토양 삼상은 표토는 고상, 액상, 기상이 각각 48.8, 25.7, 25.5%이었고, 심토는 각각 54.0, 24.1, 21.9%로 조사되었다.

- 다. 논토양의 평균 작토심은 16.1cm, 경도는 표토 10.2mm, 심토 16.4mm 이었다. 표토의 용적 밀도는  $1.31 \text{ Mg m}^{-3}$ , 심토는  $1.56 \text{ Mg m}^{-3}$  이었다. 토양삼상은 표토는 고상, 액상, 기상이 각각 49.5, 37.2, 13.3%이었고, 심토는 각각 58.5, 35.8, 5.4%로 조사되었다.
- 라. 시설재배토양의 평균 작토심은 23.7cm, 경도는 표토 3.7mm, 심토 11.6mm 이었다. 표토의 용적밀도는  $1.03 \text{ Mg m}^{-3}$  이었으며 심토는  $1.38 \text{ Mg m}^{-3}$  이었다. 토양삼상은 표토는 고상, 액상, 기상이 각각 38.9, 26.7, 34.4%이었고, 심토는 각각 52.0, 32.1, 15.9%로 조사되었다.

## 〈제2세부과제 : 강원 일반농경지 미생물 분포 및 농업용수 수질조사〉

### (시험 1) 토양미생물 분포조사

- 가. 밭토양의 미생물체량은 평균  $138 \text{ mg kg}^{-1}$ , 탈수소효소활성  $47 \text{ ugTPF g}^{-1}24\text{h}^{-1}$ , 세균 우점 문(phylum)은 *Proteo-bacteria*(35.1%), *Acido-bacteria*(20.1%), *Actino-bacteria*(8.0%), 순이었고, 미생물 종 풍부도 추정치는 Ace(1,234), Chao(1,945)였고, 다양성지수는 Shannon 5.9, Invsimpson 304이었다.
- 나. 과수원토양의 미생물체량은 평균  $233 \text{ mg kg}^{-1}$ , 탈수소효소활성  $24 \text{ ugTPF g}^{-1}24\text{h}^{-1}$ , 세균 우점 문(phylum)은 *Proteo-bacteria*(37.1%), *Acido-bacteria*(16.9%), *Actino-bacteria*(12.4%), 순 이었고, 미생물 종 풍부도 추정치는 Ace(1,435), Chao(1,024)였고, 다양성지수는 Shannon 5.7, Invsimpson 244이었다.
- 다. 논토양의 미생물체량은 평균  $362 \text{ mg kg}^{-1}$ , 탈수소효소활성  $120 \text{ ugTPF g}^{-1}24\text{h}^{-1}$ , 세균 우점 문(phylum)은 *Proteo-bacteria*(29.6%), *Chloro-flexi*(15.2%), *Acido-bacteria*(14.2%), *Actino-bacteria*(6.1%), 순 이었고, 미생물 종 풍부도 추정치는 Ace(4,129), Chao(2,242)였고, 다양성지수는 Shannon 6.3, Invsimpson 602이었다.
- 라. 시설재배지 토양의 미생물체량은 평균  $362 \text{ mg kg}^{-1}$ , 탈수소효소활성  $120 \text{ ugTPF g}^{-1}24\text{h}^{-1}$ , 세균 우점 문(phylum)은 *Proteo-bacteria*(29.6%), *Chloro-flexi*(15.2%), *Acido-bacteria*(14.2%), *Actino-bacteria*(6.1%), 순 이었고, 미생물 종 풍부도 추정치는 Ace(4,129), Chao(2,242)였고, 다양성지수는 Shannon 6.3, Invsimpson 602이었다.

### (시험 2) 농업용수 수질조사

- 가. 농업용 하천수의 평균 pH는 7.7, DO는 10.1 mg/L, BOD는 0.9 mg/L, COD<sub>Mn</sub>은 2.4mg/L, T-P는 0.04 mg/L, SS는 2.7 mg/L이었고, 농업용수 수질기준 초과지점은 pH가 3.9%, T-P가 2.0%이었다. 최근 4년 간(2013~2016) 조사된 농업용 하천수에 대한 주요지표의 농업용수 수질기준 초과율은 pH는 2013, 2014, 2015, 2016년에 각각 2.9, 2.0, 3.9, 3.9%이었고, T-P는 2014, 2015, 2016년에 1.0, 2.9, 2.0%가 초과되었고 다른 주요 항목은 초과하는 지점이 없었다.

나. 농업용 지하수의 평균 pH는 6.8 로 약산성이었고, EC는 0.32 dS/m,  $Cl^-$ 은 20.5 mg/L 이었으며, 지하수 수질의 가장 중요한 지표인 질산성질소( $NO_3-N$ )는 6.27 mg/L로 지하수 중의 질산성질소 기준인 20mg/L에는 크게 미치지 않는 것으로 조사되었다. 최근 4년 간 (2013~2016) 조사된 농업용 지하수 전수에 대한 주요지표의 농업용수 수질기준 초과율은 pH는 2015, 2016년에 각각 2.5, 5.0%가 초과되었다. 질산성 질소( $NO_3-N$ )는 2013년도에 2.5%가 초과하였으나 Cd 등 특정 유해물질은 수질기준 미만 이거나 검출 되지 않았다.

## 5. 인용문헌

- 국립농업과학원. 2009. 농업환경변동조사사업 10년 완결보고서 : pp 179~182.
- 국립농업과학원. 2012. 토양미생물 다양성분석 워크숍.
- 김복영. 1996. 환경 오염 실태와 개선 대책. 환경보존형 농업을 위한 토양관리 심포지움. 한국 토양비료학회지. 별권 : 68~98.
- 김시평. 1991. 농업환경 보전대책. 한국환경농학회 창립 10주년 기념 심포지움. p191~212.
- 농림부 농업기반공사. 2004. 농업용수 수질오염이 벼생육에 미치는 영향 연구(최종).
- 농촌진흥청. 2006. 농업용수 수질분석 이론 및 실무.
- 박용하. 1997. 토양질 측정자료의 관리체계 구축방안. 한국환경정책평가위원회.
- 정석채, 문준, 김태순, 현근수, 박창서. 1990. 우리나라 토양의 토성별 유효수분.
- 환경부. 2005. 수질오염공정시험법.
- 환경부. 2008. 토양환경보전법.
- APAH, AWWA, WEF. 1992. Standard method for the examination of water and waste water. 18th, APHA.
- 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.
- 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.
- Peters. J. B. 2000. Gambian soil fertility trend. 1991~1998. Commun. Soil. Sci. Plant Anal.(31):2201~2210.
- RDA (Rural development administration). 2013. Monitoring project on agro-environment quality; the second round of the workshop. Rural development administration. Suwon, Korea.

## 6. 연구결과 활용

연도(연차)	활용방안	제 목
2013(1년)	영농정보	강원지역 밭토양 화학성 현황 및 비료관리 대책
	학술발표	강원도 밭토양의 화학성분 함량 변화
	홍보	밭토양관리 절실히 요구됨 등 5건
2014(2년)	영농정보	강원지역 과수원토양 화학성 현황 및 비료관리 대책
	학술발표	Investigation of Heavy Metal Concentrations in Upland Soils of Gangwon Province in Korea(국제) I Monitoring on Chemical Properties Change of Arable Soils in Gangwon Province, Korea(국제) 강원도 과수원 토양의 화학성분 함량 변화
2015(3년)	영농정보	강원지역 논토양 화학성 지표에 따른 비료관리 대책
	학술발표	Changes of the chemical properties of paddy soils in Gangwon Province, Korea(국제) 강원지역 주요농업지대 경유 소하천과 농업용 지하수 수질특성
2016(4년)	영농정보	2016 강원지역 시설재배토양 화학성 현황 강원지역 주요농업지대 경유 하천수의 수질 현황
	논문게재	강원도 논토양의 화학성분 함량 변화
	학술발표	강원도 시설재배 토양의 화학성분 함량

## 7. 연구원 편성

구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도			
					'13	'14	'15	'16
과제책임자	국립농업과학원	농업연구사	강성수	과제 총괄	○	○	○	-
"	"	농업연구관	김유학	"	-	-	-	○
1세부책임자	환경농업연구과	농업연구사	윤병성	주관수행	○	○	○	○
2세부책임자	환경농업연구과	농업연구사	최승출	주관수행	○	○	○	○
공동연구자	환경농업연구과	농업연구사	임수정	조사업무지원	○	○	○	○
	"	"	허수정	"	○	○	○	○
	"	농업연구관	최준근	결과분석지원	-	○	○	-
	"	"	박영학	"	-	-	-	○
	"	"	김재록	"	-	○	○	-
	"	"	김인종	"	-	-	○	○
	"	공무직	김남호	조사업무지원	○	○	○	○