

과 제 구 분	공동연구	과 제 번 호	PJ01566322	
과학기술분류	LB0508	품목표준코드	SF-01-SF13	
주 관 과 제 명	전국단위 농경지 토양특성 검정 및 도별 비옥도 평가			
과 제 책 임 자	성 명	직 급	소속기관 및 부서	
	이 태 구	농업연구사	농업환경연구과	
연 구 기 간	2021 ~ 2025	참여연구기관	농촌진흥청 등	
세부과제명		부 서	세부책임자	연구기간
3) 강원지역 지목별 토양화학성 변화 평가 및 시군별 토양검정 정도관리		농업환경연구과	홍수영	'21~'25
키 워 드	토양검정, 대표필지, 토양화학성, 흙도람			

## ABSTRACT

This study evaluated changes in soil chemical properties and fertility status of agricultural lands in the Gangwon region by land use type, and improved the accuracy and reliability of soil testing through systematic quality control, technical training, and on-site consulting. Annual soil testing was conducted on 6,680 representative parcels, including paddy, upland, greenhouse, and orchard soils. Soil properties analyzed included pH, electrical conductivity (EC), organic matter, available phosphorus, exchangeable cations (K, Ca, and Mg), and available silica using standard methods. Soil properties varied clearly by land use. Paddy soils showed appropriate pH and organic matter but excessive phosphorus and potassium, with relatively low calcium and magnesium. Upland soils maintained stable pH, EC, and organic matter, but showed elevated phosphorus and cations, indicating nutrient accumulation. Greenhouse soils exhibited the greatest imbalance, with high EC (4.1 dS/m), available phosphorus (921 mg/kg), and exchangeable cations due to intensive cultivation. Orchard soils were relatively stable, although exchangeable calcium was somewhat elevated. Most soil properties remained stable over time, while excessive phosphorus and certain cations persisted, particularly in upland and greenhouse soils. High EC levels were consistently observed in greenhouse soils, highlighting the need for improved nutrient and salinity management. Quality control measures significantly improved analytical reliability, with suitable institutions increasing from 5 in 2021 to 12 in 2025. Major analytical errors related to sample handling, reagents, and equipment were corrected through targeted interventions. In conclusion, soil fertility varied by land use type, with nutrient imbalance most evident in greenhouse and upland soils. Systematic quality control and training improved the accuracy and reproducibility of soil testing, supporting sustainable soil management and site-specific fertilization.

## 1 연구목표

최근 농업환경 변화와 함께 지속가능한 농업 생산 및 환경보전을 위한 토양관리의 중요성이 크게 강조되고 있다. 특히 과다 시비, 시설재배 확대 및 집약적 영농 형태의 증가로 인해 농경지 토양의 염류집적, 양분 불균형 및 토양 비옥도 저하 문제가 지속적으로 제기되고 있다. 이러한 토양환경 변화는 작물 생산성뿐만 아니라 농업환경 전반에 영향을 미칠 수 있어, 지역 단위 토양의 화학적 특성에 대한 정밀한 조사와 관리가 요구되고 있다. 강원지역은 지형적·기후적 특성이 복합적으로 작용하는 지역으로, 논, 밭, 시설재배지, 과수원 등 다양한 지목이 분포하고 있으며, 이에 따라 토양화학성 또한 지목별로 상이한 특성을 나타낸다. 따라서 농경지 유형별 토양 양분 상태를 체계적으로 분석하고, 적정 시비 및 토양개량을 위한 과학적 관리 기준을 마련하는 것이 중요하다. 또한 시·군 농업기술센터에서 수행하는 토양검정 결과는 농업 현장에서의 시비 처방 및 토양관리의 기초자료로 활용되기 때문에 분석의 정확성과 신뢰성 확보가 필수적이다. 그러나 분석 인력의 교체, 장비 노후화, 분석 과정상의 오류 등으로 인해 토양검정 결과의 편차가 발생할 수 있어 이에 대한 체계적인 정도관리와 기술 지원이 요구되고 있다. 따라서 본 연구는 강원지역 대표필지를 대상으로 논, 밭, 시설재배지 및 과수원 토양의 화학적 특성을 분석하고 연차별 변화 경향을 구명하여 지목별 토양 비옥도 수준을 평가하고자 하였다. 아울러 시·군 농업기술센터를 대상으로 토양검정 숙련도 평가, 실무교육 및 현장 컨설팅을 실시하여 분석 과정에서의 오류 요인을 개선하고 토양검정의 정확성과 신뢰도를 향상시키고자 하였다. 이를 통해 지역 단위 토양관리의 과학적 기반을 마련하고, 합리적인 시비 관리 및 농업환경 보전을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 2 재료 및 방법

### <제3세부과제: 강원지역 지목별 토양화학성 변화 평가 및 시군별 토양검정 정도관리>

#### (시험 1) 강원지역 대표필지 토양검정 지원 및 DB 구축

본 연구는 강원지역 농경지 토양의 화학적 특성과 비옥도를 평가하기 위하여 도내 대표필지를 대상으로 토양검정을 수행하였다. 시료는 논, 밭, 시설재배지 및 과수원을 포함한 총 6,680필지를 대상으로 채취하였으며, 지목별 토양화학성을 비교 분석하였다. 토양 시료는 각 필지에서 표준 채취방법에 따라 채취한 후 풍건 및 체거름하여 분석에 사용하였다. 분석 항목은 pH, 전기전도도(EC), 유기물, 유효인산, 치환성 양이온(K, Ca, Mg), 유효규산(논)을 포함하였다. 분석은 토양화학분석법(농촌진흥청, 2010) 및 토양 및 식물체 분석법(농과원, 2000)에 준하여 수행하였다. 강원지역 농경지의 연차별 토양화학성 변화를 분석하기 위하여 2021년부터 2025년까지의 토양검정 자료를 활용하였다. 지목별(paddy, upland, greenhouse, orchard) 토양화학성 변화 경향을 비교하였으며, 분석 결과를 토양 양분의 적정범위와 비교하여 양분의 과부족 상태를 평가하였다. 또한 토양 양분 축적 및 불균형 경향을 분석하여 지역 농경지의 비옥도 수준을 종합적으로 진단하였다.

표 1. 강원지역 대표필지 토양검정 지점 수 및 분석 점 수

시 군	목표 점수	목표 점수					분석 점수				
		논	밭	과수	시설	계	논	밭	과수	시설	계
도 원	450	127	291	13	19	450	127	291	13	19	450
강릉시	320	140	143	29	8	320	140	143	29	8	320
고성군	260	151	101	6	2	260	151	101	6	2	260
동해시	120	32	80	4	4	120	32	80	4	4	120
삼척시	280	39	216	23	2	280	39	216	23	2	280
속초시	100	38	56	6		100	38	56	6		100
양구군	330	87	110	26	107	330	87	110	26	107	330
양양군	300	126	146	28	0	300	126	146	28	0	300
영월군	300	9	263	18	10	300	9	263	18	10	300
원주시	500	131	328	35	6	500	131	328	35	6	500
인제군	250	75	157	6	12	250	75	157	6	12	250
정선군	350	22	314	13	1	350	22	314	13	1	350
철원군	400	261	138		1	400	261	138		1	400
춘천시	450	100	261	34	55	450	100	261	34	55	450
태백시	130		127	1	2	130		127	1	2	130
평창군	360		351		9	360		351		9	360
홍천군	530	219	310	1	0	530	219	310	1	0	530
화천군	230	34	146	15	35	230	34	146	15	35	230
횡성군	1,020	207	713	14	86	1,020	207	713	14	86	1,020
합 계	6,680	1,798	4,251	272	359	6,680	1,798	4,251	272	359	6,680

## (시험 2) 토양검정 정도관리 및 분석자료 오류 검증

토양검정 담당자의 분석 역량 향상과 분석 결과의 신뢰도 확보를 위하여 연도별로 체계적인 분석실무 교육을 실시하였으며, 강원지역 16개 시·군 농업기술센터를 대상으로 토양검정의 정확도 및 재현성 향상을 위하여 정도관리 및 숙련도 평가를 실시하였다. 맹검시료를 이용하여 각 기관의 분석 결과를 수집하였으며, 분석 항목은 pH, EC, 유기물, 유효인산, 치환성 양이온(Ca, K, Mg), 유효규산 및 석회소요량 이었다. 수집된 결과는 Z-score 기준을 적용하여 평가하였으며(적합:  $|z| \leq 2.0$ , 주의:  $2.0 < |z| < 3.0$ , 불가:  $|z| \geq 3.0$ ), 기관별 분석 정확도와 편차 수준을 정량적으로 진단하였다. 숙련도 평가 결과에서 오류가 발생한 기관을 중심으로 현장 컨설팅을 병행하였으며 토양 분석 이론, 분석 항목별 표준 분석법, 장비 운용 및 유지관리, 시약 조제 및 보관 방법, 표준곡선 작성 및 검량선 관리, 데이터 처리 및 결과 해석 방법 등을 포함하였다. 현장 컨설팅에서는 각 기관의 분석 환경을 직접 점검하여 장비 노후화, 시약 관리 미흡, 분석 절차 숙련도 부족, 표준용액 관리 문제 등 주요 오류 요인을 진단하였다. 또한 문제 발생 항목에 대해서는 시약 재조제, 장비 교정 및 부품 교체, 분석 조건 재설정, 작업 절차 표준화 등의 개선 조치를 실시하였다. 이를 통해 기관별 분석 정확도를 향상시키고, 토양검정 결과의 일관성과 신뢰성을 확보하고자 하였다.

### 3 결과 및 고찰

#### <제3세부과제: 강원지역 지목별 토양화학성 변화 평가 및 시군별 토양검정 정도관리>

##### (시험 1) 강원지역 대표필지 토양검정 지원 및 DB 구축

논 토양의 평균 pH는 6.1~6.2로 적정범위(5.5~6.5)를 만족하였으며, 유기물 함량은 23~24 g/kg으로 적정범위(20~30 g/kg)를 유지하였다. 유효구산 함량은 178~218 mg/kg으로 적정범위 이상이였으며, 유효인산도 165~207 mg/kg으로 적정범위(80~120 mg/kg)를 상회하였다. 치환성 양이온은 교환성 칼륨이 0.33~0.48 cmol<sup>+</sup>/kg으로 적정범위(0.20~0.30 cmol<sup>+</sup>/kg)보다 다소 높게 나타났으며, 교환성 칼슘과 마그네슘은 적정범위 대비 부족한 경향을 보였다(표 2).

표 2. 논 토양의 화학성 변화

년도	pH (1:5)	OM (g/kg)	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	Av.SiO <sub>2</sub> (mg/kg)	Ex. Cations (cmol <sup>+</sup> /kg)		
					K	Ca	Mg
'21	6.3	24	188	211	0.41	5.0	1.1
'22	6.1	24	165	198	0.33	4.5	0.9
'23	6.1	23	174	198	0.38	4.7	0.9
'24	6.1	24	199	218	0.48	5.1	1.2
'25	6.2	23	207	178	0.38	4.7	1.0
적정범위	5.5~6.5	20~30	80~120	≥157	0.20~0.30	5.0~6.0	1.5~2.0

밭 토양의 평균 pH와 유기물함량은 적정범위를 유지하였으며, EC는 평균 0.9 dS/m로 염류집적 우려는 크지 않은 것으로 나타났다. 유효인산은 569~632 mg/kg으로 과잉 경향이였으며 교환성 칼륨과 칼슘은 적정범위를 초과하였으나 마그네슘은 평균 1.7 cmol<sup>+</sup>/kg으로 적정범위 내에 분포하였다(표 3).

표 3. 밭 토양의 화학성 변화

년도	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	Ex. Cations (cmol <sup>+</sup> /kg)		
					K	Ca	Mg
'21	6.4	0.9	26	590	0.88	6.7	1.8
'22	6.4	0.9	28	603	0.98	6.7	1.7
'23	6.4	0.9	28	635	1.06	6.8	1.7
'24	6.4	0.8	27	569	0.88	6.4	1.6
'25	6.5	0.9	27	627	0.87	6.6	1.7
적정범위	6.0~7.0	≤2.0	20~30	300~550	0.50~0.80	5.0~6.0	1.5~2.0

시설재배지 토양의 pH는 6.2~6.5로 적정범위에 해당하였으나, EC는 3.0~4.7 dS/m로 적정기준(≤2.0 dS/m)을 크게 초과하는 것으로 나타났으며 유효인산은 783~965 mg/kg으로 적정범위를 크게 초과하였으며, 교환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘도 적정범위 대비 과잉 경향이 뚜렷하였다. 시설재배지 토양의 EC는 2021년 이후 지속적으로 높은 수준을 유지하다가 2025년에 다소 감소하였으나 여전히 적정기준을 크게 초과하였으며 유효인산과 교환성 양이온은 전 기간 동안 과잉 수준이었다(표 4).

표 4. 시설재배지 토양 화학성 변화

년도	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	Ex. Cations (cmol <sup>+</sup> /kg)		
					K	Ca	Mg
'21	6.4	3.0	30	783	1.55	8.4	2.9
'22	6.4	4.5	37	879	1.95	10.0	3.3
'23	6.4	4.6	38	965	2.13	10.4	3.5
'24	6.2	4.7	33	867	1.89	9.6	3.1
'25	6.5	4.1	31	921	1.43	9.2	3.0
적정범위	6.0~7.0	≤2.0	25~35	300~550	0.50~0.80	5.0~6.0	1.5~2.0

과수원 토양의 pH, EC는 1.0 dS/m 이하로 염류집적 우려는 낮은 것으로 판단된다. 유효인산은 평균 417~601 mg/kg으로 2021년에 비하여 감소하는 경향을 보였으며, 교환성 칼슘은 7.1~8.1 cmol<sup>+</sup>/kg으로 적정범위를 초과하는 것으로 나타났다. 과수원 토양의 pH와 EC는 조사기간 동안 전반적으로 안정적인 경향을 보였으며 유기물 함량은 2024년에 다소 감소 후 다시 증가하여 적정수준을 유지하였다. 유효인산, 교환성 칼륨과 칼슘, 마그네슘도 2021년 이후부터 전반적으로 감소 추세를 나타냈다(표 5).

표 5. 과수원 토양 화학성 변화

년도	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	Ex. Cations (cmol <sup>+</sup> /kg)		
					K	Ca	Mg
'21	6.6	0.8	31	601	1.01	8.1	2.2
'22	6.6	1.0	32	534	0.98	7.7	2.1
'23	6.4	0.9	31	594	1.05	7.9	2.0
'24	6.6	0.7	29	561	0.96	7.1	1.9
'25	6.5	0.7	30	417	0.79	7.2	1.7
적정범위	6.0~7.0	≤2.0	20~30	300~550	0.50~0.80	5.0~6.0	1.5~2.0

2021~2025년 강원지역 내 논, 밭, 시설재배지 및 과수 토양의 화학성을 적정범위와 비교한 결과(그림 1), 작목 간 토양 화학성의 차이가 뚜렷하게 나타났으며, 양분 축적 양상에서 작목별 특징이 나타났다. 토양 산도(pH)는 모든 작목에서 전반적으로 적정범위에 분포하는 비율이 높게 나타났다. 논 토양은 87.5%가 적정범위로 가장 안정적인 상태를 보였으며, 밭(77.8%), 과수(75.0%), 시설재배지(60.0%) 순으로 적정 비율이 감소하였다. 특히 시설재배지는 pH 과다 비율(33.3%)이 상대적으로 높아, 시설환경에서의 염기 축적 가능성이 시사되었다. 유기물 함량(OM)은 모든 작목에서 적정범위를 중심으로 분포하였으나, 작목에 따라 차이를 보였다. 논 토양은 적정 비율이 62.5%로 비교적 안정적인 반면, 밭과 과수에서는 과다 비율이 각각 27.8%, 37.5%로 증가하였다. 시설재배지의 경우 적정과 과다 비율이 각각 46.7%로 나타나 유기물의 과잉 투입 가능성이 확인되었다. 유효인산(Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)은 모든 작목에서 공통적으로 과다 축적이 가장 두드러진 항목이었다. 논 토양에서는 75.0%, 밭 토양에서는 88.9%, 시설재배지에서는 93.3%가 과다로 나타났으며, 과수 토양에서도 과다 비율이 43.8%로 확인되었다. 이는 지속적인 인산질 비료 및 유기자원의 과다 시용에 기인한 것으로 판단되며, 토양 양분 불균형의 주요 원인으로 작용하고 있는 것으로 보인다. 유효규산(Av. SiO<sub>2</sub>)은 논 토양에서만 조사되었으며, 부족과 적정 비율이 각각 50.0%로 나타나 규산 공급의 필요성이 확인되었다. 치환성 양이온의 경우

작목별로 상반된 양상이 나타났다. 치환성 칼륨(K)은 논(68.7%), 밭(77.8%), 시설재배지(86.7%), 과수(56.2%) 모두에서 과다 비율이 높게 나타나, 전 작목에서 공통적인 과잉 축적 경향을 보였다. 반면, 치환성 칼슘(Ca)과 마그네슘(Mg)은 작목에 따라 차이를 보였다. 논 토양에서는 Ca와 Mg의 부족 비율이 각각 62.5%와 87.5%로 나타나 염기 부족형 특성을 보인 반면, 시설재배지에서는 Ca(86.7%)와 Mg(80.0%) 모두 과다 비율이 높아 과잉 축적형 특성을 나타냈다. 밭과 과수 토양은 이들 중간 형태로, Ca와 Mg가 부족과 과다가 혼재된 상태를 보였으며 전기전도도(EC)는 밭과 과수 토양에서는 대부분 적정범위로 나타나 염류 문제는 크지 않은 것으로 판단되었다. 그러나 시설재배지에서는 EC 과다 비율이 60.0%로 나타나 염류집적 문제가 뚜렷하게 확인되었다. 강원지역 토양은 작목별 관리 방식에 따라 화학성 차이를 보이며, 논 토양은 염기 부족형, 밭과 과수 토양은 양분 축적형, 시설재배지는 염류집적과 양분 과잉이 복합된 형태로 구분된다. 특히 유효인산과 치환성 칼륨의 과잉은 모든 작목에서 공통적으로 나타나는 주요 문제로 확인되었다(그림 1, 2).

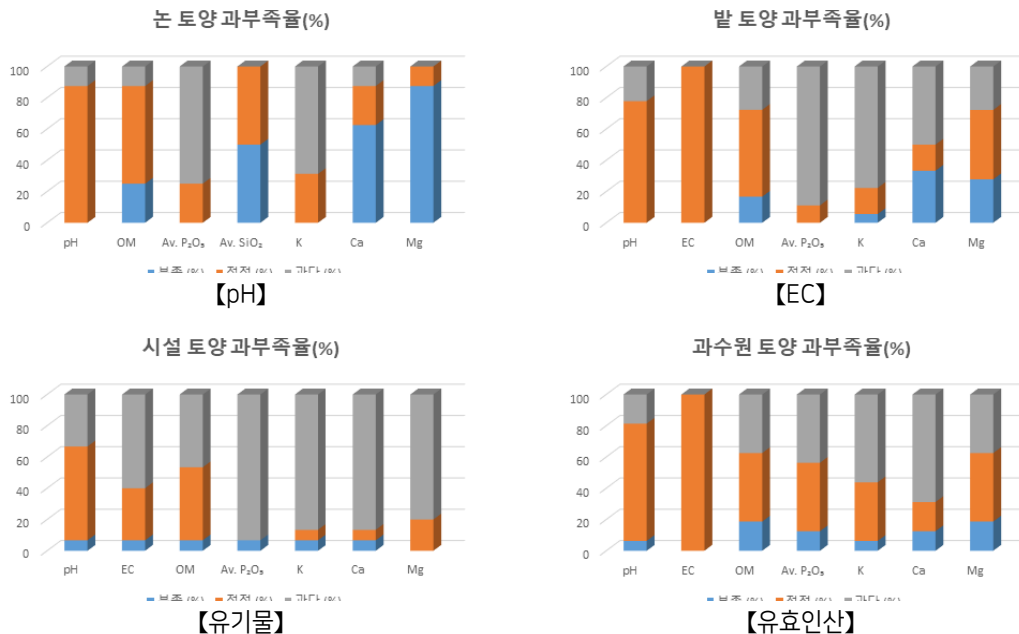


그림 1. 농경지별 토양 화학성 과부족률(%)

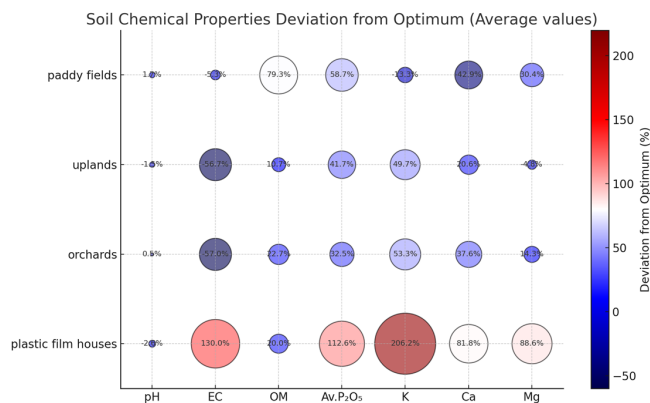


그림 2. 토양 화학성의 적정범위 대비 편차

농경지 유형별 토양 화학성의 연도별 변화를 분석한 결과, pH와 EC는 전반적으로 안정적인 범위를 유지한 반면, 유기물과 주요 양분 함량은 작목 유형에 따라 차이를 보였다. 토양 pH는 모든 농경지에서 큰 변동 없이 적정범위를 유지하였으나, 시설재배지에서는 일부 연도에서 상승 경향이 나타났다. EC는 밭과 과수 토양에서는 낮은 수준을 유지한 반면, 시설재배지에서는 높은 수준이 지속되어 염류집적 경향이 확인되었다. 유기물 함량은 전반적으로 높은 수준을 유지하거나 증가하는 경향을 보였으며, 특히 시설재배지와 과수 토양에서 상대적으로 높게 나타났다. 유효인산은 모든 농경지에서 지속적으로 높은 수준을 유지하여 축적 경향이 뚜렷하게 나타났고, 교환성 칼륨은 전 농경지에서 높은 수준을 유지하였으며, 특히 시설재배지에서 가장 높은 값을 보였다. 칼슘과 마그네슘은 논 토양에서는 낮은 수준을 유지한 반면, 시설재배지에서는 높은 수준이 지속되어 농경지 유형에 따른 차이를 보였다(그림 3).

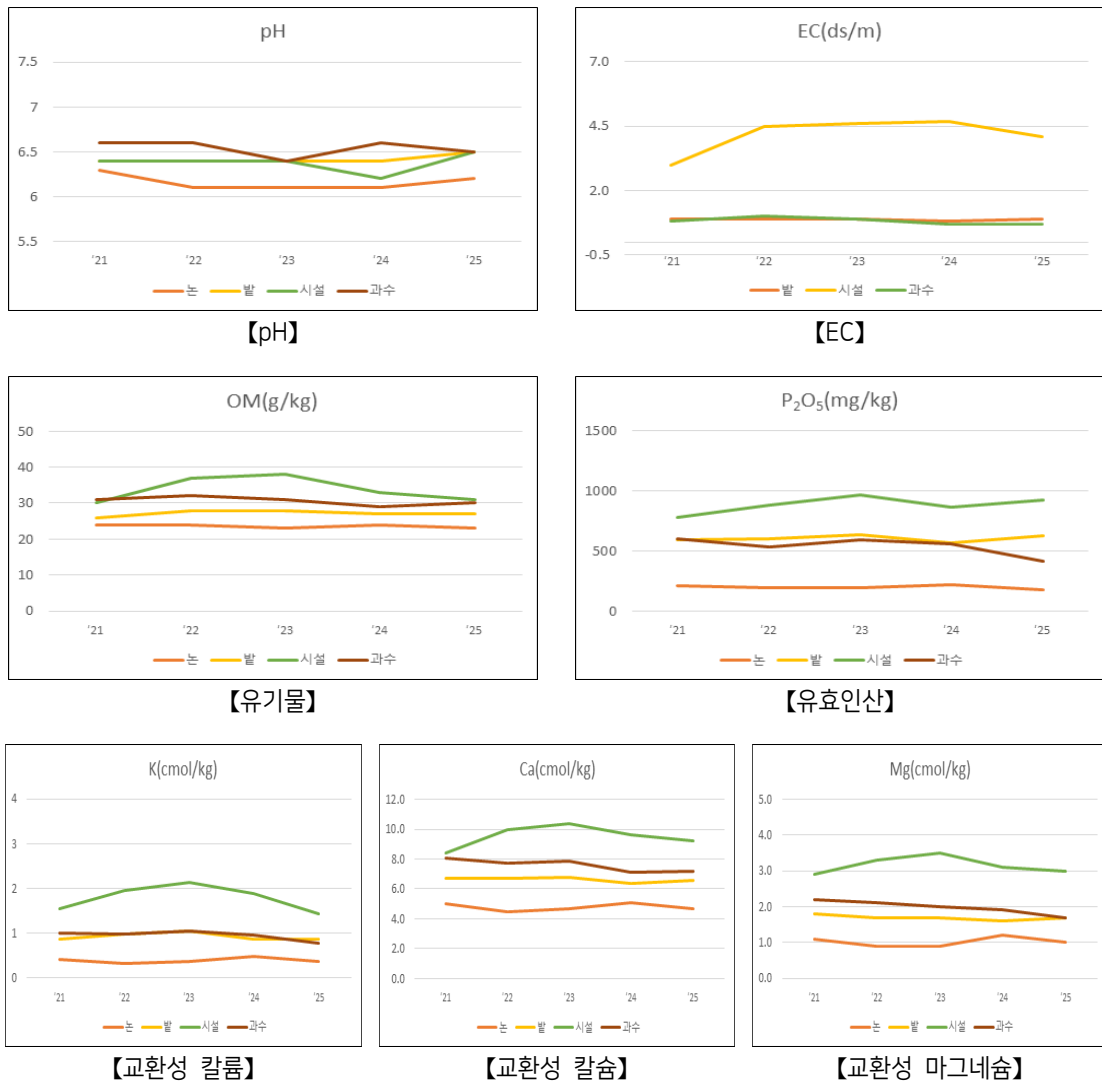


그림 2. 연도별 농경지 양분함량 변화

## (시험 2) 토양검정 정도관리 및 분석자료 오류 검증

강원지역 16개 시군 농업기술센터를 대상으로 토양검정 분석능력의 정확도 및 신뢰도를 평가하기 위해 맹검시료를 활용한 숙련도 평가를 수행하였다. 평가는 pH, EC, 유기물(OM), 유효인산(Avail. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 치환성 양이온(K, Ca, Mg), 유효규산(Avail. SiO<sub>2</sub>) 등을 대상으로 하였으며, 분석결과는 z-score를 기준으로 적합 ( $|z| \leq 2.0$ ), 주의( $2.0 < |z| < 3.0$ ), 불가( $|z| \geq 3.0$ )로 구분하였다. 연도별 적합기관 현황에서 2021년 5개 시군에서 2022년 12개 시군으로 크게 증가하였으며, 이후 2023년과 2024년에는 각각 11개 시군으로 다소 감소하였으나, 2025년에는 다시 12개 시군으로 증가하는 경향을 보였다(표 6). 이는 시군 농업기술센터 종합검정실 담당자 대상 실무교육 및 정도관리 강화의 효과가 반영된 것으로 판단된다. 특히, 강릉, 정선, 철원, 화천 등 일부 시군은 지속적으로 적합기관에 포함되어 분석 신뢰성이 높은 것으로 나타났다.

**표 6. 시군 농업기술센터 종합검정실 담당자 실무교육 실시 연도별 적합기관 현황** ※ “불가” 1개 이하 시군

연도	계	농업기술센터
2021	5	강릉, 고성, 정선, 철원, 화천
2022	12	강릉, 고성, 영월, 원주, 인제, 정선, 철원, 태백, 평창, 홍천, 화천, 횡성
2023	11	삼척, 양양, 영월, 원주, 정선, 철원, 춘천, 평창, 홍천, 화천, 횡성
2024	11	강릉, 삼척, 양구, 영월, 정선, 철원, 춘천, 평창, 홍천, 화천, 횡성
2025	12	강릉, 고성, 삼척, 영월, 원주, 정선, 철원, 춘천, 평창, 홍천, 화천, 횡성

pH와 치환성 Mg는 모든 시료에서 적합 비율이 100%로 나타나 가장 안정적인 분석항목으로 평가되었고 분석방법이 비교적 간단하고 장비 간 편차가 적은 항목인 까닭으로 판단된다. EC 역시 시료 1과 시료 2에서 각각 86.7%와 93.3%의 높은 적합 비율을 보여 전반적으로 안정적인 수준을 유지하였다. 유기물(OM)의 경우 시료 1에서 적합 80.0%, 시료 2에서 93.3%로 나타나 대체로 양호하였으나 일부 기관에서 불가 판정이 확인되어 분석 전처리 및 적정조건 등에 대한 관리가 필요한 것으로 판단된다. 반면, 유효인산(Avail. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)은 두 시료 모두에서 가장 낮은 적합 비율을 나타냈다. 시료 1에서는 적합 33.3%, 불가 40.0%로 분석되었으며, 시료 2에서도 적합 46.7%, 불가 40.0%로 나타나 항목 중 가장 큰 변동성을 보였다. 이는 토양 내 인산의 불균일성, 추출법 및 분석기기 차이에 따른 영향이 크게 작용한 것으로 판단되며, 표준화된 분석 절차 확립과 장비 보정의 필요성이 요구된다. 치환성 양이온의 경우 K, Ca는 전반적으로 양호한 수준을 보였으나 일부 시료에서 불가 비율이 각각 13.3% 및 6.7~13.3%로 나타났다. 특히 K는 시료 1에서 불가 13.3%, 시료 2에서 6.7%로 나타나 기관 간 분석 편차가 큰 것으로 나타났다. 반면 Ca는 비교적 안정적인 경향을 보였으며 유효규산(Avail. SiO<sub>2</sub>)은 시료 1에서 적합 42.9%, 불가 21.4%, 시료 2에서 적합 57.1%, 불가 28.6%로 나타나 비교적 높은 변동성을 보였다. 규산 분석도 인산 분석과 마찬가지로 온도, 발생시간 등 전처리 및 추출조건에 민감하게 반응하는 원인으로 분석오차가 큰 항목으로 판단되며, 분석방법의 표준화 및 실무자의 반복훈련에 따른 숙련도 향상이 요구된다(표 7).

표 7. 2025년 항목별 숙련도평가 등급 비율

시료	등급	pH	EC	OM	Avail.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exch. cations			Avail.SiO <sub>2</sub>
						K	Ca	Mg	
1	적합	100.0	86.7	80.0	33.3	80.0	80.0	100.0	42.9
	주의	0.0	13.3	13.3	26.7	6.7	13.3	0.0	35.7
	불가	0.0	0.0	6.7	40.0	13.3	6.7	0.0	21.4
2	적합	100.0	93.3	93.3	46.7	86.7	86.7	100.0	57.1
	주의	0.0	6.7	0.0	13.3	6.7	0.0	0.0	14.3
	불가	0.0	0.0	6.7	40.0	6.7	13.3	0.0	28.6

현장 컨설팅 및 재분석 결과, 대부분의 오류는 고도의 분석기술 부족보다는 기본적인 분석 절차 준수, 시약 관리, 장비 유지관리 미흡에서 비롯된 것으로 확인되었다. 특히 유효인산과 유효규산 항목은 시약 상태, 침출액 조건, 장비 보정 등에 민감하게 반응하여 오류 발생 빈도가 높은 것으로 나타났다. 조치 이후 모든 기관에서 재분석 결과가 개선되어 숙련도 평가 기준을 만족하거나 편차가 크게 감소하는 효과를 확인하였으며 현장 중심의 맞춤형 컨설팅과 즉각적인 피드백 제공이 분석 정확도 향상에 영향을 준 것으로 판단된다.

표 8. 숙련도 평가 현장 컨설팅 및 재분석 조치결과

소속	항목	오류 원인	조치결과
K시	유효규산	시료액을 충분히 섞지 않음	시료 혼합 과정 교정
G시	유효인산	시약 조제 및 표준곡선 범위 오류	시약 재조제 및 표준곡선 범위 조정
L시	유기물	Blank 대비 함량 계산 누락, 적정값 그대로 기입	Blank 대비 함량 계산 수정
	유효인산	ICP 분석 보정값 적용 오류 (비색계와 차이 발생)	기존 시료를 기준으로 ICP 분석값 보정
	교환성양이온(Ca)	표준용액 장기간 사용으로 기준농도 농축	오염된 표준용액 폐기 및 재구매
C시	유효인산	침출액 불량	침출액 재조제
P군	유효인산	침출액 시약 pH 측정 오류	노후된 pH 기기 교체
M군	유효인산	장기간 보관된 침출액 사용	침출액 신규 조제 후 pH 교정
I군	유효인산	종합분석기 소모품(튜브) 교체시기 경과	분석기의 튜빙 교체
D군	유효인산	표준용액 오염	오염된 표준용액 폐기 및 재구매
	유효규산	표준용액 오염	오염된 표준용액 폐기 및 재구매
	교환성양이온(K)	표준용액 오염	오염된 표준용액 폐기 및 재구매
H군	유효인산	일시적 오류	오류 교정
	유효규산	측정기기 오류	분광광도계를 활용하여 재측정
	교환성양이온(Ca)	침출액, 표준용액 조제 오류	시약 재조제
B군	유효규산	분광광도계 노후화로 인한 오류	기기의 고장난 부품(램프) 교체

소속	항목	오류 원인	조치결과
E군	유효인산	1-2-4 용액의 보존기간 초과	시약 재조제
	유효규산	침출액 pH 보정범위 초과	침출액 pH 재보정
	교환성양이온(K)	표준용액 오염	오염된 표준용액 폐기 및 재구매

### <제3세부과제: 강원지역 지목별 토양화학성 변화 평가 및 시군별 토양검정 정도관리>

#### (시험 1) 강원지역 대표필지 토양검정 지원 및 DB 구축

- 가. 강원지역 논, 밭, 시설재배지, 과수원 등 대표필지 6,680점을 대상으로 토양검정을 실시한 결과 토양 pH와 EC는 전반적으로 적정범위를 유지하였으나, 유효인산과 치환성 칼륨은 대부분 작목에서 과잉 축적 경향을 보였으며, 시설재배지에서는 염류집적 및 양분 과잉이 뚜렷하게 나타났다.
- 나. 농경지 유형별로 토양 비옥도 특성이 상이하게 나타났으며, 논은 염기 부족형, 밭과 과수는 양분 축적형, 시설재배지는 염류 및 양분 과잉형으로 구분되어 작목별 맞춤형 토양관리 필요성이 확인되었다.
- 다. 연도별 토양화학성 변화 분석 결과, pH와 EC는 전 기간 동안 큰 변동 없이 안정적인 수준을 유지하였으며, 유기물은 전반적으로 적정범위를 유지하거나 증가하는 경향을 보였다. 반면, 유효인산과 치환성 양이온은 농경지 유형에 따라 지속적인 축적 또는 과잉 상태가 유지되는 경향이였다.

#### (시험 2) 토양검정 정도관리 및 분석자료 오류 검증

- 가. 강원지역 16개 시군을 대상으로 맹검시료 기반 숙련도 평가를 실시한 결과, 적합기관 수는 2021년 5개에서 2025년 12개로 증가하여 분석 정확도와 신뢰도가 지속적으로 향상되었다
- 나. 항목별로 pH와 Mg는 매우 안정적인 반면, 유효인산과 유효규산은 변동성이 크게 나타났으며, 일부 기관에서 시약 관리, 표준용액 오염, 장비 유지관리 미흡 등으로 인한 분석 편차가 확인되었다
- 다. 현장 컨설팅 및 재분석을 통해 시약 재조제, 장비 교정 및 소모품 교체, 분석 절차 개선 등을 수행한 결과 모든 기관에서 분석 정확도가 개선되었으며, 체계적인 정도관리와 맞춤형 기술지원의 효과가 확인되었다.

## 5 인용문헌

- Sang-Jo Park, Jun-Hong Park, Jong-Gun Won, Dong-Hwan Seo, and Suk-Hee Lee. 2017. Assessing Changes in Selected Soil Chemical Properties of Rice Paddy Fields in Gyeongbuk Province. Korean J. Soil Sci. Fert. 50(3):150-161
- Seong Heo. 2021. Changes in Soil Chemical Properties of Rice Paddy, Upland Field, and Greenhouse in Incheon from 2015 to 2019. Korean J. Soil Sci. Fert. 24(2):204-212
- 김이현, 공명석, 이은진, 이태구, 정구복. 2019. 한국 밭토양 화학성 변동 평가. 한국환경농학회지. 38(3):213-218
- 농촌진흥청(Rural Development Administration, RDA). 2000. 토양 및 식물체 분석법. 국립농업과학원.
- 농촌진흥청(Rural Development Administration, RDA). 2010. 토양화학분석법. 국립농업과학원.

## 6 연구결과 활용

연도(연차)	활용방안	제 목
2021(1년)	학술발표	강원지역 대표필지 농경지 토양화학성 변화
	컨설팅	토양시료채취 및 현장진단
	DB구축	2021년 강원지역 대표필지 토양검정 자료
2022(2년)	학술발표	강원지역 농경지의 비옥도 변화
	영농정보	2022년 강원도 비료사용 지도자료 제시
	홍 보	토양검정실 분석실무교육 실시
	컨설팅	분석오차 교정 및 현장 컨설팅
2023(3년)	DB구축	2022년 강원지역 대표필지 토양검정 자료
	홍 보	시군 농업기술센터 토양검정실 토양검정 실무교육 실시
	컨설팅	2023 분석실무 현장 컨설팅
	학술발표	강원지역 대표필지 발 토양화학성 변화
2024(4년)	DB구축	2023년 강원지역 대표필지 토양검정 자료
	홍 보	종합검정실 담당자 및 실무자 교육 실시
	컨설팅	2024 분석실무 현장 컨설팅
	DB구축	2024년 강원지역 대표필지 토양검정 자료
2025(5년)	DB구축	2024년 강원지역 대표필지 토양검정 자료
	홍 보	토양검정 및 퇴비부숙도 분석교육 실시
	컨설팅	분석오차 교정 및 현장 컨설팅
	학술발표	강원도 농경지의 토양 비옥도 변화 모니터링
	영농정보	강원지역 농경지의 적정 시비관리를 위한 대표필지 검정 결과 안내
2025(5년)	DB구축	2025년 강원지역 대표필지 토양검정 자료

연도	1년차 (2021)		2년차 (2022)		3년차 (2023)		4년차 (2024)		5년차 (2025)		계		
	목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적	
성과지표	학술 발표												
	국제												
	국내	1	1		1	1			1	1	3	3	
영농 활용	기술												
	정보			1	1				1	1	2	2	
	DB구축	450	450	450	450	450	450	450	450	450	2,250	2,250	
	홍보				6	5		4		2		17	
	현장컨설팅		1		1	1		4		3		10	
	계	451	452	451	459	451	456	450	458	452	457	2,255	2,282

## 7 연구원 편성

구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도				
					'21	'22	'23	'24	'25
과제책임자	국립농업과학원	농업연구사	이태구	과제 총괄				○	○
세부책임자	농업환경연구과	농업연구사	홍수영	세부주관 수행	○	○	○	○	○
공동연구자	농업환경연구과	농업연구사	김민경	평가분석 지원					○
		농업연구사	김동민	평가분석 지원	○	○	○	○	○
		농업연구사	홍성유	평가분석 지원				○	○
		농업연구사	김희연	평가분석 지원					○
		농업연구사	허수정	평가분석 지원	○				○
		농업연구관	김기선	평가분석 지원			○	○	○
		공무직	김남호	현장조사 지원	○	○	○	○	○