

과 제 구 분	공동연구	과 제 번 호	RD009511	
과학기술분류	LB0508	품목표준코드	SF-01-SF12	
주 관 과 제 명	농경지 토양물리성 변동 평가(4차) 및 지표개발			
과 제 책 임 자	성 명	직 급	소속기관 및 부서	
	허 승 오	농업연구관	국립농업과학원	
연 구 기 간	2021 ~ 2025	참여연구기관	농촌진흥청 등	
세부과제명		부 서	세부책임자	연구기간
1) 강원지역 농경지 토양물리성 변동평가		농업환경연구과	홍성유	'24~'25
키 워 드	토양, 물리성, 강원, 변동조사			

ABSTRACT

This study aimed to establish foundational data for sustainable agriculture while promoting efficient soil maintenance and management. From 2021 to 2025, over a five-year period, the topographical and physical properties of soils in upland fields, orchards, paddy fields, and greenhouse cultivation areas in the Gangwon region were investigated, and their patterns of change were analyzed. The mean plow layer depth of upland soils has shown a continuous increasing trend since 2017, while the bulk density of subsoil has steadily decreased since 2013. The proportion of subsoil bulk density exceeding the optimal range was 12.5%, 15.0%, and 12.5% in 2017, 2021, and 2025, respectively. The average organic matter content in topsoil has been maintained at approximately 30.0 g kg⁻¹ since 2017, whereas that of subsoil has continuously increased since 2009, reaching 29.7 g kg⁻¹ in 2025. In orchard soils, the average plow layer depth has steadily increased, and soil hardness in the topsoil has shown a decreasing trend; however, it increased again in 2022, suggesting the need for continued monitoring. Organic matter content in both topsoil and subsoil exhibited an increasing trend. In paddy soils, the average plow layer depth gradually increased, and the bulk density of topsoil consistently decreased, while no significant changes were observed in subsoil bulk density. When compared with the optimal standards for paddy soil physical properties, the proportion of sites exceeding the subsoil bulk density threshold for sandy loam paddy soils was 75.0% in 2015, 79.3% in 2019, and 75.0% in 2023. For silty clay loam soils, the proportion of sites outside the optimal range was 90.0% in 2015, 81.8% in 2019, and 100% in 2023, indicating a serious condition. In greenhouse cultivation soils, the plow layer depth decreased compared to 2016, while bulk density in both topsoil and subsoil has shown an increasing trend since 2020. The organic matter content in topsoil exhibited an increasing trend.

1 연구목표

「친환경농어업 육성 및 유기식품 등의 관리·지원에 관한 법률」에 의거 농촌진흥청과 공동으로 「농업 자원과 농업 환경의 실태조사 및 평가기준」 준하여 강원지역 농경지의 비옥도, 중금속, 농업 용수 등에 대한 농업환경 자원 변동조사를 실시하고 있다. 전국의 일반 농경지 토양물리성 변동 조사는 2007년에 논 토양, 2008년에 시설재배지 토양 각 180지점에 대해 조사를 실시하였으며 2009년 부터는 논, 밭, 시설재배지, 과수원을 대상으로 4년 주기로 진행되었다(NAS, 2021). 토양 물리성은 화학성과 같이 토양의 질을 평가하는 요소 중 하나로 식물 뿌리의 성장, 수분과 양분의 이동 및 보유력, 공기의 흐름에 관여하며 토양의 화학적, 생물적 특성에 영향을 주어 토양의 질을 평가하는데 중요한 역할을 한다(Schoenholtz et al., 2000; Dexter, 2004; Oliver et al., 2013; Obade and Lal, 2016; Amorim et al., 2020; Joshi and Garkoti, 2023). 또한 토양 미생물에도 영향을 미칠 뿐 아니라 토양 탄소 저장능에도 중요한 요소이다(Schoenholtz et al., 2000; Oliver et al., 2013; De Paul Obade and Lal, 2016; Amorim et al., 2020; Park and Choi, 2022; Joshi and Garkoti, 2023). 따라서 본 연구는 강원 지역 밭, 과수원, 논, 시설재배지를 대상으로 하는 일반 농경지 토양의 지형적 특성과 물리적 특성을 조사하고 변화양상 및 특성을 분석하여 토양을 효율적으로 유지하고 관리함은 물론 지속가능한 농업을 위한 기초자료로 활용하고자 실시하였다.

2 재료 및 방법

<제1세부과제: 강원지역 농경지 토양물리성 변동 평가>

강원 지역의 밭, 과수원, 논, 시설재배지를 대상으로 물리적 특성을 조사하기 위해 지형과 토양통 등을 고려하여 토양화학성 조사지점 중 각 40지점을 선정하였고 4년 1기로 정점조사 하였다. 조사 시기는 경운 후 교란이 되어 있는 시기는 피하여 작물 생육 중 조사하였으며 토양수분 상태가 과건 또는 과습할 때는 피하며 비가 온 경우에는 3~4일 후 실시하였다. 논은 추수 후 10월에서 다음해 3월 중에 조사하였으며 답수와 씨레질 이전, 수확 후 실시하는 경우에는 토양이 얼지 않는 시기에 조사 하였다. 토양 시료는 필지의 가장자리를 제외한 1/3 되는 영역 내에서 농기계 등에 의해 다져진 곳은 피해 채취하되 과수원은 과수의 제일 긴 나뭇가지 수평 길이의 1/2~1/3 지점에서, 시설 재배지는 이랑 위의 작물과 작물 사이를 선정하였다. 조사항목 대상농경지의 주소 및 GPS 좌표 정보를 수집하고, 작토심, 경도, 용적밀도, 유기물 함량, 토성 등 5항목을 현장 및 실험실에서 조사하였다. 지표면에서 작토심까지를 표토, 작토심 이하를 심토로 구분하였으며 작토심은 손잡이 15 cm, 길이 60 cm, 굵기 1.2 cm, 원추 길이 2 cm의 탐침봉을 지면에 수직 방향으로 눌렀을 때 침이 더 이상 들어가지 않는 지점까지를 나타낸다. 경도는 표토와 심토를 경도계 (DIK-5553, DAIKI, Japan)를 이용하여 10회 반복 측정하였으며 2016년, 2019년에는 심토만을 측정하였다. 전용적밀도는 100 cm³ 코어 시료를 표토, 심토 각 3반복으로 채취하여 측정하였다. 토성은 비중계법(hydrometer method)으로 모래, 실트, 점토의 함량을 구해 토성삼각도표(texturaltriangle)에 적용하여 구하였으며, 토양 유기물 함량은 Tyurin법으로 분석하였다. 토양물리성 조사 및 분석은 국립농업과학원의 '농경지 토양물리성 조사방법 및 분석법 (NAS, 2022)'에 준하였으며 유기물 함량은 '토양 및 식물체분석법 (NIAS, 2000)'에 준용하였다. 또한 선정된 조사 지점의 토양도로부터 수집된 토양특성은 토양통, 토성 (속), 지형, 경사, 급지 등 5가지 특성이다.

표 1. 지역별 조사 지점수

구분	춘천	원주	강릉	동해	태백	속초	삼척	홍천	횡성	영월	평창	정선	철원	화천	양구	인제	고성	양양	합계	
밭	2	5	6	3	1	1		3	7	3		2		1	3	3			40	
과수원	3	9	8	3		2	1		1				1	1	2				9	40
논	2	7	4			1	2	5	6	1	1	2	6		2	1			40	
시설 재배지	8	4	3	2	1	1	3	2	3	2		1	2	1	2	1	3	1	40	

3 결과 및 고찰

<제1세부과제: 강원지역 농경지 토양물리성 변동 평가>

토양물리성 조사지점은 정점조사를 기준으로 하고 있는데 지난 주기의 조사 연도 대비 변동 비율을 살펴보면 (표 2) 밭은 2021년 5.0%, 2025년 22.5%가 변동되었으며 과수원은 10.0%, 논은 15.0%, 시설은 32.5%가 변동되어 가장 높은 변동 비율을 나타냈다. 변경 원인은 대지, 도로 등으로 변경되거나 시설재배지의 경우 양액재배로 전환 혹은 시설 철거 등이었다. 위 결과는 경작지의 지속적 감소, 시설재배 면적의 증가 등 농업 여건 변화로 정점조사에 현실적 어려움이 있음을 보여주었다.

표 2. 정점 조사지점의 변동 현황

구분	조사 연도 및 농경지 유형				
	2021(밭)	2022(과수원)	2023(논)	2024(시설)	2025(밭)
조사 지점수	40	40	40	40	40
변동 지점수	2	4	6	13	9
변동 비율(%)	5.0	10.0	15.0	32.5	22.5

밭 토양의 평균 작토심(표 3)은 2021년과 2025년에 각 19.3 cm, 21.2 cm로 조사되어 조금 깊어졌으며 용적밀도와 공극률은 표토, 심토 모두 큰 변동을 보이지 않았다. 표토의 평균 산중식 경도는 2021년 12.0 mm에서 2025년 15.4 mm로 증가하였고 심토의 평균 산중식 경도는 변화를 보이지 않았다. 평균 유기물 함량의 경우 표토는 비슷한 수준이었으며 심토는 2021년 23.4 g kg⁻¹, 2025년 26.7 g kg⁻¹로 나타나 약간 증가하였다.

표 3. 2021년과 2025년의 밭 토양의 물리적 특성

구분(시료수)	연도	층위	작토심 (cm)	용적밀도 (Mg m ⁻³)	공극률 (%)	산중식 경도 (mm)	유기물 함량 (g kg ⁻¹)
강원(40)	2021	표토	19.3	1.22	53.9	12.0	30.2
		심토		1.48	44.3	21.1	23.4
	2025	표토	21.2	1.20	54.7	15.4	29.6
		심토		1.42	46.4	21.1	26.7
사양질(36)	2021	표토	19.2	1.20	54.8	11.6	31.4
		심토		1.47	44.6	21.2	23.3
사양질(32)	2025	표토	21.5	1.20	54.6	15.0	30.2
		심토		1.42	46.6	20.8	27.7

주) 사양질: 심토 점토함량 18% 미만·용적밀도 1.50 Mg m⁻³ 미만,
 식양질: 심토 점토함량 18% 이상·1.40 Mg m⁻³ 미만

2009년부터 2025년까지 밭 토양의 평균 작토심(표 4.)은 2009년에는 12.9 cm로 가장 낮았으며 2017년 이후 지속적으로 깊어지는 경향을 보이고 있다. 표토의 평균 용적밀도(표 4)는 2013년의 1.31 Mg m⁻³ 이후 감소하여 1.20 Mg m⁻³~1.22 Mg m⁻³ 사이를 유지하고 있으며 심토의 평균 용적밀도는 2009년 1.57 Mg m⁻³로 조사되었으나 이후 2013년 1.49 Mg m⁻³, 2017년 1.43 Mg m⁻³, 2021년 1.48 Mg m⁻³, 2025년 1.42 Mg m⁻³로 조사되어 감소하는 경향을 보여 물리성이 개선된 것으로 나타났다. 또한 토양물리성 평가기준에 따르면 심토의 용적밀도는 사양질 <1.6, 식양질 1.5인데 2017년, 2025년의 미적정 지점 비율(표 5)은 각 12.5%, 15.0%, 12.5%였다. 평균 유기물의 함량은 표토의 경우 2009년 21.8g kg⁻¹에서 증가하여 2017년 이후에는 30.0g kg⁻¹ 정도를 유지하고 있으며 심토의 경우에는 더욱 크게 증가하여 2009년에는 13.0 g kg⁻¹ 이었는데 2017년 23.3 g kg⁻¹, 2025년 조사 시에는 29.7 g kg⁻¹로 나타났다.

표 4. 밭 토양의 조사 주기별 토양물리성 변동

구분	작토심 (cm)	용적밀도 (Mg m ⁻³)	삼상(%)			경도 (mm)	유기물함량 (g kg ⁻¹)	
			고상	액상	기상			
2009년	표토	12.9	1.29	48.7	22.8	28.5	11.6	21.8
	심토			59.1	26.9	14.0	21.0	13.0
2013년	표토	18.5	1.31	49.3	19.4	31.4	12.5	22.6
	심토			56.1	23.8	20.1	15.8	13.1
2017년	표토	16.1	1.20	45.4	20.2	34.4	9.4	30.0
	심토			54.1	26.5	19.4	18.2	23.3
2021년	표토	19.3	1.22	46.1	21.4	32.5	12.0	30.2
	심토			55.7	25.8	18.5	21.1	23.4
2025년	표토	21.2	1.20	45.3	20.5	34.2	15.4	29.6
	심토			53.6	26.9	19.6	21.1	29.7

표 5. 발 토양의 심토 용적밀도의 적정범위 초과 지점 비율

연도	구분(지점수)	심토 용적밀도				
		미적정 지점수		미적정 지점비율(%)		
2017	전체(40)	사양질(35)	5	4	12.5	11.4
		식양질(5)		1		20.0
2021	전체(40)	사양질(36)	6	4	15.0	11.1
		식양질(4)		2		50.0
2025	전체(40)	사양질(36)	5	4	12.5	11.1
		식양질(4)		1		25.0

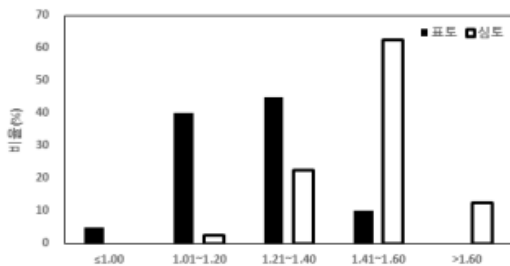


그림 1. 발의 용적밀도의 분포 비율(2021)

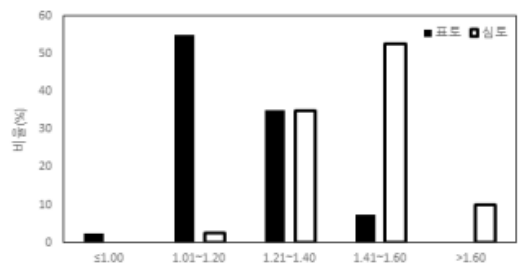


그림 2. 발의 용적밀도의 분포 비율(2025)

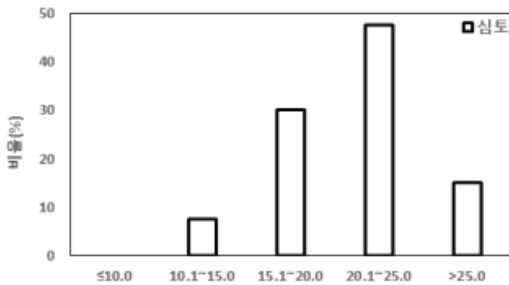


그림 3. 발 심토의 산중식경도 분포 비율(2021)

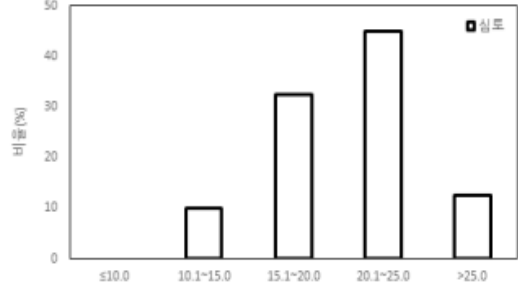


그림 4. 발 심토의 산중식경도 분포 비율(2025)

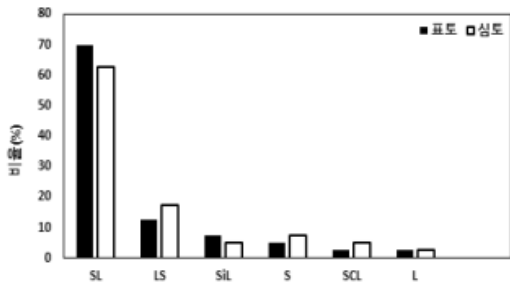


그림 5. 발 토양의 토성 분포(2021)

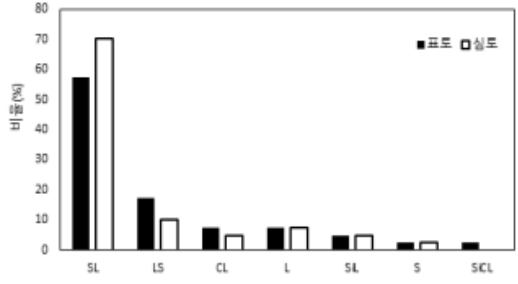


그림 6. 발 토양의 토성 분포(2025)

2022년에 조사한 과수원 토양의 평균 작토심(표 6)은 24.0 cm이었으며 40지점 중 사양질 토양 38지점의 평균 작토심은 23.9 cm, 사양질 2지점의 평균 작토심은 25.0 cm로 조사되어 사양질 보다 조금 깊었다. 표토의 평균 용적밀도는 1.21 Mg m⁻³, 심토의 평균 용적밀도는 1.36 Mg m⁻³이었으며 사양질 38지점의 조사 결과는 전체 40지점의 평균 결과와 동일하였고 사양질 심토의 용적밀도는 1.40 Mg m⁻³으로 사양질의 평균인 1.36 Mg m⁻³보다 조금 높았다. 표토의 평균 산중식 경도는 14.0mm, 심토의 산중식 경도는 19.6 mm이었으며 평균 유기물의 함량은 표토는 37.2 g kg⁻¹, 심토는 19.5 g kg⁻¹로 조사되었다. 과수원은 재배 중에는 경운이 어려워 식재 이후 심토에 추가로 유기물을 시비하는 농가가 거의 없으며 표토 중심의 시비가 이루어지는 관행적 재배 방식이 반영된 결과라 생각된다. 과종별로 살펴보면 표토의 산중식 경도는 배 13.1 mm, 복숭아 15.1 mm, 사과 14.4 mm, 포도 12.6 mm로 복숭아가 가장 컸고 포도가 가장 작았으며 심토의 산중식 경도는 배 14.0 mm, 복숭아 23.0 mm, 사과 16.0 mm, 포도 27.0 mm로 나타나 배와 사과 대비 복숭아와 포도 과수원의 심토가 더 단단한 것으로 나타났다. 표토의 유기물의 함량은 복숭아가 43.6 g kg⁻¹으로 가장 높았고 포도가 28.0 g kg⁻¹으로 가장 낮았으며 심토의 유기물 함량은 배가 14.0. g kg⁻¹으로 가장 낮았고 포도가 27.0 g kg⁻¹으로 가장 높았다.

표 6. 과수원 토양의 물리적 특성

구분(시료수)		작토심 (cm)	용적밀도 (Mg m ⁻³)	공극률 (%)	산중식 경도 (mm)	유기물 함량 (g kg ⁻¹)
강원(40)	표토	24.0	1.21	54.5	14.0	37.2
	심토		1.36	48.7	19.6	19.5
사양질(38)	표토	23.9	1.21	54.5	14.2	52.5
	심토		1.36	48.8	19.5	20.0
식양질(2)	표토	25.0	1.21	54.5	10.0	36.4
	심토		1.40	46.5	20.0	19.4
배(12)	표토	24.3	1.18	55.6	13.1	37.8
	심토		1.36	48.5	18.7	14.0
과 종 별 복숭아(15)	표토	23.7	1.18	55.5	15.1	43.6
	심토		1.35	49.1	19.1	23.0
사과(8)	표토	24.4	1.27	52.0	14.4	30.1
	심토		1.40	47.3	22.0	16.0
포도(5)	표토	23.6	1.26	52.4	12.6	28.0
	심토		1.33	49.8	19.2	27.0

2010년부터 2022년까지 과수원 토양의 평균 작토심(표 7)은 2010년 13.5 cm, 2014년 28.0 cm, 2018년 28.3 cm, 2022년 24.0 cm로 2010년과 비교하여 2022년에는 10 cm 정도 깊어졌다. 표토의 용적밀도는 2010년 1.33 Mg m⁻³, 2014년 1.29 Mg m⁻³, 2018년 1.19 Mg m⁻³로 꾸준히 낮아지는 경향이었으나 2022년 1.21 Mg m⁻³로 조사되어 다시 조금 높아졌다. 심토의 용적밀도는 2010년 1.44 Mg m⁻³, 2014년 1.43

Mg m⁻³, 2018년 1.42 Mg m⁻³로 비슷한 수준을 유지하다가 2022년에 1.36 Mg m⁻³으로 감소하였다. 표토의 경도는 2010년, 2014년, 2018년에 각 16.1 mm, 14.2 mm, 13.5 mm로 꾸준히 감소하였는데 2022년에 14.0 mm으로 나타나 다시 증가하였다. 유기물 함량은 표토, 심토 모두 증가하는 경향을 보였다. 2010년과 2022년을 비교하여 볼 때 작토심은 깊어지고 심토의 용적밀도는 낮아지고 표토의 경도는 감소하였으며 표토, 심토의 유기물 함량은 증가하여 토양물리성이 개선되는 경향을 보였으나 2018년과 2022년을 비교하여 보면 작토심은 2018년과 2022년에 각 28.3 cm, 24.0 cm로 2022년에 약 4센티 가량 얕아졌고 표토의 용적밀도는 각 1.19 Mg m⁻³, 1.21 Mg m⁻³로 조금 높아졌다.

표 7. 과수원 토양의 조사 주기별 토양물리성 변동

구분	작토심 (cm)	용적밀도 (Mg m ⁻³)	삼상(%)			경도 (mm)	유기물함량 (g kg ⁻¹)
			고상	액상	기상		
2010년	표토	1.33	50.0	30.7	19.3	16.1	31.1
	심토	1.44	54.3	29.2	16.5	19.1	17.1
2014년	표토	1.29	48.8	25.7	25.5	14.2	34.9
	심토	1.43	54.0	24.1	21.9	15.8	18.4
2018년	표토	1.19	44.9	24.1	31.0	13.5	35.2
	심토	1.42	53.4	25.7	20.9	18.5	18.1
2022년	표토	1.21	45.5	23.0	31.5	14.0	37.2
	심토	1.36	51.4	20.9	27.8	19.6	19.5

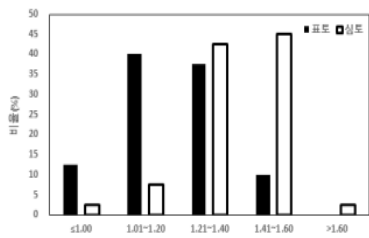


그림 7. 과수원의 용적밀도 분포

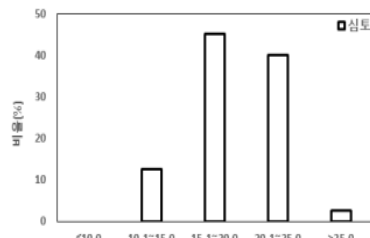


그림 8. 과수원의 산중식 경도 분포

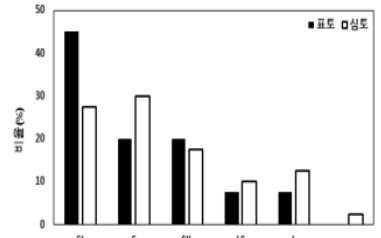


그림 9. 과수원 토성의 분포

2023년에 조사한 논 토양의 평균 작토심은(표 8) 19.1 cm이었고 표토의 용적밀도는 1.31 Mg m⁻³, 심토의 용적밀도는 1.56 Mg m⁻³이었으며 공극률은 표토 50.5%, 심토 41.1%였고 표토의 산중식 경도는 17.8 mm, 심토의 산중식 경도는 22.0 mm였다. 유기물의 함량은 표토, 심토 각 25.8 g kg⁻¹, 22.5g kg⁻¹로 조사되었다. 조사지점 중 사양질 토양의 작토심은 18.8 cm, 표토의 용적밀도는 1.31 Mg m⁻³, 심토의 용적밀도는 1.56 Mg m⁻³이었는데 ‘농업 자원과 농업 환경의 실태조사 및 평가기준’ 고시에서 사양질 토양의 심토 용적밀도 적정 기준은 1.5 Mg m⁻³ 미만인데 기준을 초과하는 것으로 나타났다. 표토의 산중식 경도는 17.7 mm, 심토의 산중식 경도는 21.7 mm였다. 유기물의 함량은 표토, 심토 각 26.3 g kg⁻¹, 22.7 g kg⁻¹로 조사되었다.

표 8. 논 토양의 물리적 특성

구분(시료수)	작토심 (cm)	용적밀도 (Mg m ⁻³)	공극률 (%)	산중식 경도 (mm)	유기물 함량 (g kg ⁻¹)	
강원(40)	표토	19.1	1.31	50.5	17.8	25.8
	심토		1.56	41.1	22.0	22.5
사양질(32)	표토	18.8	1.31	50.7	17.7	26.3
	심토		1.56	41.3	21.7	22.7

주) 사양질: 심토 점토함량 18% 미만·용적밀도 1.50 Mg m⁻³ 미만

식양질: 심토 점토함량 18% 이상·1.40 Mg m⁻³ 미만

논의 작토심 평균(표 9)은 2011년에 11.3 cm, 2015년에 16.1 cm, 2019년에 18.7 cm, 2023년에 19.1 cm로 2007년과 점차 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이러한 결과는 Hur et al.(2023)의 전국 대상 자료와도 비슷한 경향을 나타내는 것이며 이는 Kang et al.(1999)이 보고한 심경 및 심토 파쇄에 의해 물리성이 개량되어 유기물, 인산 및 칼리 함량도 증가되는 것과 관련이 있고 대형 농기계의 보급에 따른 깊이갈이가 가능해진 때문(Cho et al., 2018) 인 것으로 판단된다. 표토의 용적밀도는 2011년에 1.38 Mg m⁻³, 2015년에 1.30 Mg m⁻³, 2019년에 1.25 Mg m⁻³, 2023년에 1.31 Mg m⁻³으로 조사되었다. 2011년과 비교하면 지속적으로 조금씩 감소하고 있어 Hur et al.(2023)의 전국 대상 자료와도 같은 경향을 나타내었다. 심토의 용적밀도는 2011년에 1.57 Mg m⁻³, 2015년에 1.56 Mg m⁻³, 2019년에 1.58 Mg m⁻³, 2023년에 1.55 Mg m⁻³로 큰 변화는 보이지 않았다.

표 9. 논 토양의 조사 주기별 토양물리성 변동

구분	작토심 (cm)	용적밀도 (Mg m ⁻³)	삼 상(%)			경도 (mm)	유기물함량 (g kg ⁻¹)	
			고상	액상	기상			
2011년	표토	14.3	1.38	51.9	37.2	10.9	15.5	22.8
	심토							
2015년	표토	16.1	1.30	49.1	37.0	13.9	10.3	21.3
	심토							
2019년	표토	18.7	1.25	47.2	40.8	12.0	-	25.9
	심토							
2023년	표토	19.1	1.31	49.5	37.2	13.2	17.8	25.8
	심토							

논 토양물리성의 적정 기준은 심토의 용적밀도는 점토 함량이 18% 미만인 사양질은 1.5 Mg m⁻³, 점토 함량이 18% 이상인 식양질은 1.4 Mg m⁻³ 미만이며 심토 경도는 20 mm 미만, 작토심은 20 cm 초과이다(농업 자원과 농업 환경의 실태조사 및 평가기준). 사양질 논 토양의 심토 용적밀도 기준을 초과한 지점(표 10)은 2015년에는 75.0%, 2019년에는 79.3%, 2023년에는 75.0%를 나타냈으며 식양질 기준의 미적정 지점 비율은 2015년 90.0%, 2019년 81.8%, 2023년에는 100%인 것으로 조사되어 심각한 수준인 것으로

나타났다. 이러한 결과는 전국의 논 토양을 대상으로 연구한 Hur et al. (2023)의 결과와 비슷한 경향을 나타내는 것으로 이는 경작시 물로터리 경운 방식이 늘고, 대형 농기계의 사용 및 경운작업의 생력화 등으로 인해 발생한다 (Shin et al., 1996; Yang et al., 2005; Cho et al., 2018). 심토 경도의 미적정 비율을 살펴보면(표 11) 2015년 2.4%, 2019년 55.0%, 2023년 77.5%로 나타나 심토의 경도가 악화되고 있는 양상을 보였다. 표토 작토심의 경우(표 12) 미적정 지점의 비율이 2015년 85.7%, 2019년 47.5%, 2023년 57.5%로 조사되어 개선되는 경향을 보였고 이는 대형 농기계의 보급으로 깊이 깊이가 가능해졌기 때문(Cho et al., 2018)으로 생각된다.

표 10. 논 토양 심토 용적밀도의 적정범위 초과 지점 비율

연도	구분(지점수)		심토 용적밀도			
			미적정 지점수		미적정 지점비율(%)	
2015	전체(42)	사양질(32)	33	24	78.6	75.0
		식양질(10)		9		90.0
2019	전체(40)	사양질(29)	32	23	80.0	79.3
		식양질(11)		9		81.8
2023	전체(40)	사양질(32)	32	24	80.0	75.0
		식양질(8)		8		100.0

표 11. 논 토양 심토 경도의 적정범위 초과 지점 비율

연도	구분(지점수)		심토 경도			
			미적정 지점수		미적정 지점비율(%)	
2015	전체(42)	사양질(32)	1	1	2.4	3.1
		식양질(10)		0		0
2019	전체(40)	사양질(29)	22	13	55.0	44.8
		식양질(11)		9		81.8
2023	전체(40)	사양질(32)	31	24	77.5	75.0
		식양질(8)		7		87.5

표 12. 논 토양 표토 작토심의 적정범위 부족 비율

연도	구분(지점수)		표토 작토심			
			미적정 지점수		미적정 지점비율(%)	
2015	전체(42)	사양질(32)	36	30	85.7	93.7
		식양질(10)		6		60.0
2019	전체(40)	사양질(29)	19	14	47.5	48.3
		식양질(11)		5		45.5
2023	전체(40)	사양질(32)	23	20	57.5	62.5
		식양질(8)		3		37.5

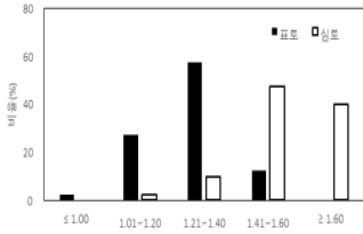


그림 7. 논외 용적밀도 분포

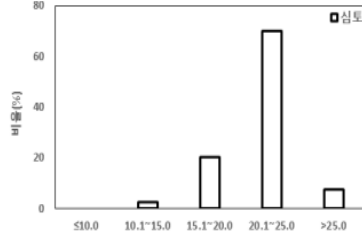


그림 8. 논외 산중식경도 분포

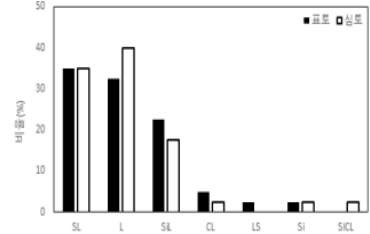


그림 9. 논 토성의 분포

2024년에 조사한 시설재배지 토양의 평균 작토심(표 13) 21.2 cm였으며 표토의 평균 용적밀도는 1.12 Mg m⁻³, 심토의 평균 용적밀도는 1.41 Mg m⁻³이었다. 공극률은 표토, 심토 각 57.8%, 46.9%였고 표토의 평균 산중식 경도는 4.4 mm, 심토의 평균 산중식 경도는 11.8 mm로 표토와 큰 차이를 보였다. 평균 유기물의 함량은 표토 42.9 g kg⁻¹, 심토 27.9 g kg⁻¹로 조사되었다.

표 13. 시설재배지 토양의 물리적 특성

구분(시료수)	작토심 (cm)	용적밀도 (Mg m ⁻³)	공극률 (%)	산중식 경도 (mm)	유기물 함량 (g kg ⁻¹)
강원(40)	표토	21.2	57.8	4.4	42.9
	심토	21.2	46.9	11.8	27.9
사양질(40)	표토	21.2	57.8	4.4	42.9
	심토	21.2	46.9	11.8	27.9

주) 사양질: 심토 점토함량 18% 미만·용적밀도 1.50 Mg m⁻³ 미만

식양질: 심토 점토함량 18% 이상·1.40 Mg m⁻³ 미만

작물별로 살펴보면(표 14) 작토심은 큰 차이를 보이지 않았으며 표토의 용적밀도는 토마토 1.05 Mg m⁻³, 오이 1.15 Mg m⁻³, 고추 1.10 Mg m⁻³으로 비슷한 수준이었으나 오이가 가장 컸고 심토의 용적밀도는 토마토 1.36 Mg m⁻³, 오이 1.42 Mg m⁻³, 고추 1.32 Mg m⁻³으로 오이가 가장 컸다. 표토의 유기물 함량은 토마토 38.2 g kg⁻¹, 오이 46.4 g kg⁻¹, 고추 45.0 g kg⁻¹로 오이가 가장 높고 토마토가 가장 낮았다. 심토의 유기물 함량은 토마토 27.0 g kg⁻¹, 오이 36.0 g kg⁻¹, 고추 24.3 g kg⁻¹로 표토와 마찬가지로 오이가 가장 높았고 고추가 가장 낮았다.

표 14. 시설재배지 토양의 주요 작물별 물리적 특성

구분	작토심 (cm)	용적밀도 (Mg m ⁻³)	삼 상(%)			경도 (mm)	유기물함량 (g kg ⁻¹)
			고상	액상	기상		
토마토 (12)	표토	1.05	39.5	22.8	37.7	3.6	38.2
	심토	1.36	51.4	30.5	18.1	11.9	27.0
오이 (5)	표토	1.15	43.4	20.2	36.4	6.6	46.4
	심토	1.42	53.5	24.0	22.5	10.8	36.0
고추 (5)	표토	1.10	41.6	26.3	32.2	5.0	45.0
	심토	1.32	49.8	30.9	19.3	11.8	24.3

시설재배지 토양의 작토심(표 15)은 2016년 23.7 cm, 2020년 19.9 cm, 2024년 21.2 cm로 나타나 낮아졌다 다시 높아지는 경향을 보였으며 표토의 용적밀도는 2016년, 2020년, 2024년에 각 1.03 Mg m⁻³, 1.12 Mg m⁻³, 1.12 Mg m⁻³로 조사되어 2020년 이후로 증가하였으며 심토도 같은 경향을 보였다. 표토의 유기물 함량은 2016년 38.9 g kg⁻¹, 2020년 40.6 g kg⁻¹, 2024년에 42.9 g kg⁻¹로 조사되어 점차 증가하였다.

표 15. 시설재배지 토양의 조사 주기별 토양물리성 변동

구분	작토심 (cm)	용적밀도 (Mg m ⁻³)	삼 상(%)			경도 (mm)	유기물함량 (g kg ⁻¹)	
			고상	액상	기상			
2016	표토	23.7	1.03	38.9	26.7	34.4	-	38.9
	심토			52.0	32.1	15.9	11.6	31.5
2020	표토	19.9	1.12	42.3	25.7	32.0	-	40.6
	심토			53.0	29.4	17.7	19.0	33.2
2024	표토	21.2	1.12	42.4	24.6	33.0	4.4	42.9
	심토			53.2	29.6	17.2	11.8	27.9

4 적 요

<제1세부과제: 강원지역 농경지 토양물리성 변동 평가>

- 가. 2021년과 2025년 밭 토양의 평균 작토심은 각 19.6 cm, 21.2 cm이었으며 표토의 용적밀도는 각 1.22 Mg m⁻³, 1.20 Mg m⁻³이었으며 심토의 용적밀도는 각 1.48 Mg m⁻³, 1.42 Mg m⁻³이었다. 표토의 유기물 함량은 2021년과 2025년에 각 30.2 g kg⁻¹, 29.6 g kg⁻¹이었으며 심토의 유기물 함량은 각 23.4 g kg⁻¹, 26.7 g kg⁻¹이었다. 이전 주기와 비교하여 작토심은 깊어지고 심토의 용적밀도는 감소, 심토의 유기물 함량은 증가하는 경향을 보였다.
- 나. 2022년 과수원 토양의 평균 작토심은 24.0 cm, 표토의 용적밀도는 1.21 Mg m⁻³, 심토의 용적밀도는 1.36 Mg m⁻³, 심토의 산중식 경도는 19.6 mm 이었다. 이전 주기별 평가 결과와 비교하여 작토심이 얕아지고, 심토의 용적밀도는 지속적으로 감소하는 경향을 보였으며 삼상, 경도 등은 조사 주기별 특별한 경향이 없었으나 유기물 함량은 표토 심토 모두 지속적으로 증가하는 경향이었다.
- 다. 2023년 논 토양의 작토심 평균은 19.1 cm, 표토의 용적밀도는 1.31 Mg m⁻³, 심토의 용적밀도는 1.56 Mg m⁻³이었으며 표토의 산중식 경도는 17.8 mm, 심토의 산중식 경도는 22.0 mm였다. 이전 주기별 평가 결과와 비교하여 작토심은 깊어지고, 표토의 용적밀도는 증가하였으며 심토의 용적밀도는 감소하는 경향을 보였다. 경도는 지속적으로 증가하는 경향이었으며 유기물 함량 또한 표토 및 심토 모두 지속적으로 증가하는 경향이었다.
- 라. 2024년 시설재배지 토양의 평균 작토심은 21.2 cm였으며 표토의 용적밀도는 1.12 Mg m⁻³, 심토의 용적 밀도는 1.41 Mg m⁻³로 나타났다. 표토의 공극률은 57.8%, 심토의 공극률은 46.9%였으며 표토의 산중식 경도는 4.4 mm 심토의 산중식 경도는 11.8m였다. 표토의 유기물 함량은 42.9 g kg⁻¹, 심토는 27.9 g kg⁻¹이었으며 40지점 모두 심토 점토 함량이 18% 미만으로 나타나 전지점 사양질 토양이었다. 이전 주기별 평가 결과와 비교하여 작토심은 낮아졌다 다시 높아지는 경향을 보였으며 표토의 유기물 함량은 점차 증가하였다.

5 인용문헌

- Amorim HCS, Ashworth AJ, Moore Jr. PA, Wienhold BJ, Savin MC, Owens PR, Jagadamma S, Carvalho RS, Xu S. 2020. Soil quality indices following long-term conservation pasture management practices. *Agric. Ecosyst. Environ.* 301:107060.
- Cho HR, Zhang YS, Han KH, Cho HJ, Ryu JH, Jung KY, Cho KR, Ro AS, Lim SJ, Choi SC, et al. 2012. Soil physical properties of arable land by land use across the country. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45:344-352.
- Cho HR, Zhang YS, Han KH, Ok JH, Hwang SA, Lee HS, Kim DJ. 2018. Decadal changes in subsoil physical properties as affected by agricultural land
- Dexter AR. 2004. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma* 120:201-214.
- Hur SO, Sohn JW, Ok JH, Hwang SA. 2023. Variation characteristics on soil physical properties of paddy fields in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 56:354-364.
- Joshi RK, Garkoti SC. 2023. Influence of vegetation types on soil physical and chemical properties, microbial biomass and stoichiometry in the central Himalaya. *CATENA* 222:106835.
- Obade VDP, Lal R. 2016. A standardized soil quality index for diverse field condition. *Sci. Total Environ.* 541:424-434.
- Oliver DP, Bramley RGV, Riches D, Porter I, Edwards J. 2013. Review: Soil physical and chemical properties as indicators of soil quality in Australian viticulture. *Aust. J. Grape Wine Res.* 19:129-139.
- Schoenholtz SH, Van Miegroet H, Burger JA. 2000. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: Challenges and opportunities. *For. Ecol. Manage.* 138:335-356.
- Yang WH, Han HS, Jeon WT, Yang CI, Lee BS, Yoon YH, Choi DH, Park JW. 2005. Improvement of technology on machine transplanting of rice. III. Development of technology on machine transplanting of partialtillage of rice. *Treat. Crop Sci.* 6:292-301.

6 연구결과 활용

연도(연차)	활용방안	제목
2021(1년차)	학술발표	강원도 시설재배 토양의 물리적 성질 변동
2022(2년차)	컨설팅	사과 과수원 배수불량 컨설팅
2024(4년차)	논문게재	Variation of soil physical properties in paddy land in GangwonProvince from 2007 to 2023
	영농정보	강원지역 논 토양의 물리성 변화 특성 및 적정 유지 방안
	학술발표	강원지역 논 토양의 물리적 특성 변화

연도(연차)	활용방안	제목
2025(5년차)	영농정보	강원지역 밭 토양의 물리적 특성 변동 및 관리 방안
	학술발표	강원지역 시설재배지 토양의 물리성
	컨설팅	고령지 배추 연작지 토양관리 컨설팅

성과지표명		연도		1년차 (2021)		2년차 (2022)		3년차 (2023)		4년차 (2024)		5년차 (2025)		계	
		목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적
논문 게재	SCI														
	비SCI							40			40			40	40
학술 발표	국제														
	국내	1	1							1	1	1	2	3	
영농 활용	기술														
	정보									1		1		2	
컨설팅				1	1					1			1	2	2
계		1	1	1	1	40				1	42	1	3	44	47

7 연구원 편성

구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도				
					'21	'22	'23	'24	'25
과제책임자	국립농업과학원	농업연구관	허승오	과제 총괄	○	○	○	○	○
세부책임자	산채연구소	농업연구관	임수정	세부주관 수행	○				
	연구협력과	농업연구사	최병곤	세부주관 수행		○			
	원예연구과	농업연구관	김경대	세부주관 수행			○		
	농업환경연구과	농업연구사	홍성유	세부주관 수행				○	○
공동연구자	농업환경연구과	농업연구사	김희연	평가분석 지원					○
		농업연구사	홍수영	평가분석 지원	○	○	○	○	○
		농업연구사	김동민	평가분석 지원	○	○	○	○	○
		농업연구사	김민경	평가분석 지원					○
		공무직	허수정	평가분석 지원	○	○			○
		공무직	김현석	현장조사 지원	○	○	○	○	○