

## Variation of soil physical properties in paddy land in Gangwon Province from 2007 to 2023

Kyungdae Kim<sup>1\*</sup>, Seongyu Hong<sup>2</sup>, Sooyoung Hong<sup>2</sup>, Youngho Seo<sup>3</sup>, Kisun Kim<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Reasercher, Reaserch Cooperation Section, Gangwon State ARES, Chuncheon 24203, Korea

<sup>2</sup>Reasercher, Agricultural Environment Research section, Gangwon State ARES, Chuncheon 24203, Korea

<sup>3</sup>Senior Reasercher, Agricultural Environment Research section, Gangwon State ARES, Chuncheon 24203, Korea

\*Corresponding author: Kim K (Email: kimkd1122@gmail.com)

### ABSTRACT

**Received:** October 23, 2024

**Revised:** November 7, 2024

**Accepted:** November 8, 2024

### Edited by

Sang Soo Lee,  
Yonsei University, Korea

### ORCID

Kim KD  
<https://orcid.org/0000-0003-1168-9686>

Hong SY  
<https://orcid.org/0009-0002-2113-3972>

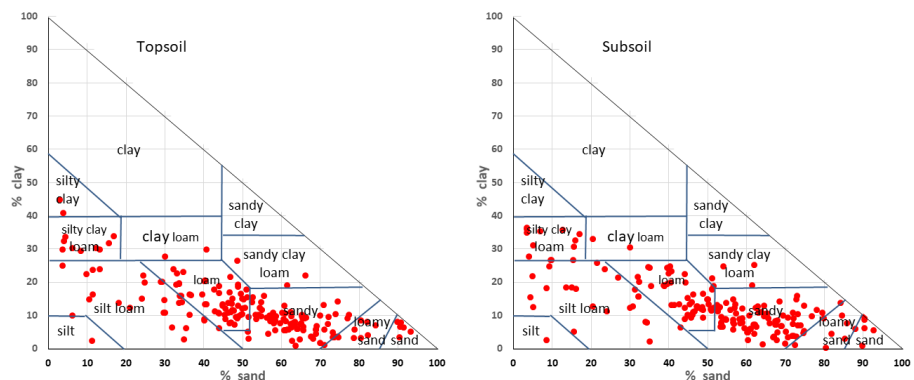
Hong SY  
<https://orcid.org/0009-0004-2845-7763>

Seo YH  
<https://orcid.org/0000-0003-3939-6877>

Kim KS  
<https://orcid.org/0009-0009-8453-2832>

The monitoring of soil physical properties is a field of agricultural environment change survey project, which started in 2007, and is conducted in accordance with the Rural Development Administration's notice (2017-12) in Korea. This study aimed to evaluate the annual trends and changes based on the results of the soil physical property survey in Gangwon, South Korea. The main soil series of the paddy soils surveyed in Gangwon were Sacheon, Namgye, and Gangseo, which have a large area distribution of paddy soils in Gangwon, and the main topographical characteristics were valleys/alluvial fan and river alluvium. The plowing depth of the paddy soils in Gangwon was less than the appropriate depth of 20 cm, but it had been continuously increased since 2015. The bulk density of the subsoil was found to be in the range of 1.46 to 1.57 Mg m<sup>-3</sup> during the survey period, exceeding the appropriate standard. The organic matter content showed an increasing trend in both topsoil and subsoil, and the hardness of subsoil was lower than the appropriate standard of 20 mm until 2015, but then greater than the appropriate standard in 2019 and 2023. The main soil textures were sandy loam, loam and silt loam. The results of the physical characteristics of the paddy soil in Gangwon showed that the plowing depth and organic matter content were increasing, but the bulk density and hardness were deteriorating, implying that soil improvement was necessary to decrease the bulk density and hardness.

**Keywords:** Gangwon, Paddy soils, Physical property, Variability



Distribution of soil texture of paddy soils in Gangwon State from 2007 to 2023.



## Introduction

강원특별자치도농업기술원은 농촌진흥청 국립농업과학원과 함께 ‘친환경농어업 육성 및 유기식품 등의 관리·지원에 관한 법률’ 및 ‘농업 자원과 농업 환경의 실태조사 및 평가기준’ 고시에 따라 강원지역 농경지의 비옥도, 중금속, 농업용수 등에 대한 농업환경자원 변동조사를 실시하고 있다.

전국의 일반농경지 토양물리성 변동조사는 2007년 논토양, 2008년 시설재배지토양 각각 180지점에 대해서 조사를 실시하였으며, 2009년부터는 논, 밭, 시설재배지, 과수원을 대상으로 4년 주기로 진행되었으며, 농촌진흥청, 각도 농업기술원 및 한국농업기술진흥원이 공동으로 토양물리성 조사를 실시하였다 (NAS, 2021).

토양물리성은 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). 따라서, 이를 지속적으로 조사하고, 검토하는 것은 농업생산성을 유지하고 지속가능성을 판단하는데 필요하며, 농경지 평가지표의 하나로서 작용할 수 있다.

우리나라의 토양물리성 연구는 1968년까지 13건의 연구가 보고되었으며, 이후 수도작 증산을 위해 토성, 객토, 경운방법 및 토층연구를 수행하였고, 다음으로 원예 및 전작 분야의 토양온도, 통기 및 배수에 대한 연구가 수행되었고, 1990년대 이후 상토를 비롯하여 친환경 고품질 농산물 생산과 지속농업과 환경보전을 위한 기술개발에 주력하고 있다 (Jo et al. 2009). 1999년부터 농업환경변동조사 사업이 시작되고, 2007년부터는 일반농경지에 대한 토양물리성 조사가 포함되면서 토양물리성 인자간의 관계 및 농경지 유지관리를 위한 개선방안에 대한 연구도 진행되었다. Cho et al. (2012)은 2008 - 2011년까지 논, 밭, 과수, 시설재배지의 토양물리성 평가를 통해 경지이용에 따라 토양물리성이 달라짐을 보고하였고, Cho et al. (2018)은 2009 - 2017년까지 밭, 과수원, 논을 대상으로 토양물리특성을 분석하여 토양물리성 관리의 주요 요인을 토양유기물로 평가하고, 논 토양에서 유기물 관리의 경운방법 개선이 필요하다고 보고하였다. Hur et al. (2023)은 2007 - 2019년까지 논토양을 4년주기로 토양물리성을 5번 조사분석하여 논토양의 토양물리특성의 변화양상에 대해 대형농기계 등의 투입으로 깊이갈이가 가능해져 작토심이 증가하였으나, 대형농기계의 사용으로 인해 전용적밀도와 경도는 나빠지고 있으며, 심도파쇄 및 지속적 유기물 투입을 통해 유기물함량을 증가시키면서 전용적밀도와 경도를 개선하는 등의 토양개량이 필요한 것으로 평가하였다. 이러한 보고들은 농경지 토양의 지속적 관찰을 통해 변동 상황을 검토하여 도출된 결과로서 지속적 모니터링의 중요성을 나타내고 있다.

농경지 토양물리성에 대한 발표 내용 대부분은 대한민국 전역에 대한 대표적인 내용들로 발표되어 지역별 특이성에 대한 자료가 부족하였다. 따라서, 본 연구는 친환경농어업법과 농진청 고시 (2017-12)를 근거로 하여 추진되는 농업환경자원 변동평가 중 강원지역의 토양물리성에 대해 2007년부터 2023년까지 6번의 논토양 물리적 특성 모니터링 결과를 살펴보고, 연도별 추이와 그 변화 양상을 평가하고자 하였다.

## Materials and Methods

**대상토양** 강원 지역에 대표적으로 분포하는 토양통 및 토성을 고려하여 조사 지점을 선정하였다. 2007년부터 4년 주기로 2011, 2015, 2019, 2023년에 조사를 실시하였으며, 2012년은 농업환경자원 변동조사 대상 필지를 조정하기 위해 추가 조사를 진행하였다. 강원지역 조사지점은 논이 면적비율 및 토양통 분포를 고려하여 선정하였다. 즉, 논이 없는 태백과 논면적이 낮은 동해와 화천을 조사지점에서 제외하였으며, 2015년 조사에서 양양이, 2019년 조사부터는

고성이 제외되어, 2023년 조사지점은 강원특별자치도 18시군 중 13시군, 40지점이었다 (Table 1).

**Table 1.** Number of monitoring point for paddy field in Gangwon State.

Study year	2007	2011	2012	2015	2019	2023
Total	9	30	30	42	40	40
Chuncheon	-	2	2	3	2	2
Wonju	-	5	3	7	7	7
gangneung	3	2	3	4	4	4
Sokcho	-	-	1	1	1	1
Samcheok	-	2	-	2	2	2
Hongcheon	-	5	3	5	5	5
Hoengseong	-	4	4	6	6	6
Yeongwol	-	1	2	1	1	1
Pyeongchang	-	1	1	1	1	1
Jeongseon	-	-	2	2	2	2
Cheorwon	3	4	2	6	6	6
Yanggu	-	1	3	2	2	2
Inje	-	1	2	1	1	1
Goseong	-	1	1	1	-	-
Yangyang	3	1	1	-	-	-

**조사시기 및 시료채취** 토양의 수분상태가 과습하거나 기계적 다짐이 되어 있는 곳을 피하여 추수 후 10월에서 다음해 3월 중에 조사하였으며, 담수와 썩레질 이전, 수확 후 실시하는 경우에는 토양이 얼지 않는 시기에 조사 하였다. 조사 및 시료채취 위치는 짚으로 피복되어 있을 경우에는 짚을 걷어 내고 작물과 작물 사이의 토양을 기준으로 하 되, 국립농업과학원의 ‘농경지 토양물리성 조사방법 및 분석법 (NAS, 2022)’에 준하여 실시하였다.

**조사항목** 대상농경지의 주소 및 GPS 좌표 정보를 수집하고, 작토심(작토 깊이, plowing depth), 경도 (hardness), 전용적밀도 (bulk density), 유기물 함량 (organic matter), 토성 (soil texture) 등 5항목을 현장 및 실험실에서 조사하였다. 지표면에서 작토심까지를 표토 (topsoil), 작토심 이하를 심토 (subsoil)로 구분하였으며, 작토심은 손잡이 15 cm, 길이 60 cm, 굵기 1.2 cm, 원추 길이 2 cm의 탐침봉을 지면에 수직방향으로 눌렀을 때 침이 더 이상 들어가지 않는 지점까지를 나타낸다. 경도는 표토와 심토를 경도계 (DIK-5553, DAIKI, Japan)를 이용하여 10회 반복 측정하였으며, 2019년에는 심토만을 측정하였다. 전용적밀도는 100 cm<sup>3</sup> 코어를 3반복으로 시료를 채취하여 측정하였다. 토성은 비중계법 (hydrometer method)으로 모래 (sand), 실트 (silt), 점토 (clay)의 함량을 구해 토성삼각도표 (textural triangle)에 적용하여 구하였으며, 토양 유기물 함량은 Tyurin 법으로 분석하였다. 토양물리특성 분석은 국립농업과학원의 ‘농경지 토양물리성 조사방법 및 분석법 (NAS, 2022)’에 준하여 실시하였으며, 유기물 함량은 ‘토양 및 식물체 분석법 (NIAS, 2000)’에 준하여 분석하였다.

**조사지점 토양도 수집자료** 조사대상지의 주소와 좌표는 토양도에서 위치를 확인할 수 있으며, 이는 조사대상

지의 토양조사 분류 특성을 확인할 수 있다. 선정된 조사지점의 토양도로부터 수집된 토양특성은 토양통, 토성 (속), 지형, 경사, 급지 등 5가지 특성이다.

## Results and Discussion

**조사지점 정점 특성** 토양물리성 조사지점은 정점조사를 기준으로 하고 있다. 초기의 조사지점은 2주기 시작 (2011년)과 함께 새로 선정이 되어 2007년과 2011년에 조사지점에 차이가 있다. 2012년은 조사 당시에 토양화학성 조사지점을 대상으로 하며, 가능한 2011년과는 다른 지점을 조사하기로 결정하였기에, 동일한 지역이 있지만 90%의 차이가 존재했다. 이후, 2015년은 2011년과 2012년 조사지점 중에서 선정하여, 2012년 대비 21지점이 추가되었다. 2015년 변경된 조사지점의 비율은 50.0%였다. 2019년은 2015년 자료와 달라진 지점 비율은 12.5%였으며, 2023년은 2019년과 달라진 조사지점은 15.0%였다 (Table 2). 이러한 조사지점의 변화 결과는 농경지 변동조사를 동일한 지점에서 지속하기가 쉽지 않음을 반영하고 있다. 조사지점의 변경 원인은 밭으로 변경하거나, 대지, 도로 등으로의 지목변경 등 다양한 토지변화와 환경변화로부터 유래하고 있다.

**Table 2.** Change ratio of monitoring point for paddy field in Gangwon State.

Classification	Year					
	2007	2011	2012	2015	2019	2023
Number of points	9	30	30	42	40	40
Number of changed points	-	30	27	21	5	6
Change ratio (%)	-	100.0	90.0	50.0	12.5	15.0

**조사지점 토양통 분포특성** 강원지역 논 토양의 물리적 특성 모니터링 대상토양은 모두 29개의 토양으로서 분포 비율이 2.0% 이상인 토양은 사촌통, 남계통, 강서통 고천통 등 15개 토양통이었으며 (Table 3), 이들의 분포 비율이 조사지역의 89.0%를 차지하고, 나머지 11개 토양통이 11.0%를 차지하였다. 이러한 분포는 이들 15개 토양통이 강원 지역 면적의 60.5%를 차지하는 흙토람 통계자료 (KISI, 2024)의 결과보다는 28.5%가 높으나, 토양조사에서 면적분포가 높은 사촌통, 남계통, 매곡통, 고천통 등 강원지역의 주요한 토양들은 모두 포함하고 있어 유사한 경향임을 알 수 있다.

**Table 3.** Distribution ratio of major soil series with greater than 2%.

Order	Soil series	Ratio	Order	Soil series	Ratio	Order	Soil series	Ratio
1	Sachon	19.9%	6	Jisan	6.3%	11	Yongho	3.7%
2	Namgye	9.4%	7	Maegog	4.7%	12	Haggog	3.7%
3	Gangseo	8.9%	8	Dongsong	3.7%	13	Seogcheon	2.6%
4	Gocheon	7.9%	9	Oggye	3.7%	14	Gacheon	2.1%
5	Paju	6.8%	10	Yongji	3.7%	15	Ogcheon	2.1%

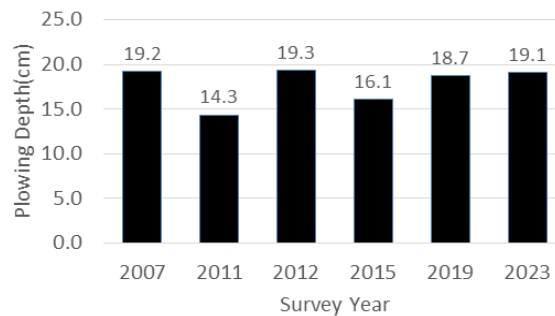
**조사지점 지형 분포특성** 조사지점이 분포하고 있는 지형은 곡간지/선상지 45.5%, 하성평탄지 36.6%, 용암류 평탄지 12%, 산록경사지 3.7%, 홍적대지 1.6%, 하해혼성평탄지 0.5%였다 (Table 4). 한국토양총설 (ASI, 1992)의

강원지역을 살펴보면 곡간지/선상지가 58.3%, 평탄지가 29.5%로 전체 면적의 87.8%를 차지하고 있는데, 논에서는 이들이 주요한 지형임을 알 수 있었다. Hur et al. (2023)에 따르면, 논은 곡간지/선상지에 41.1%, 하성평탄지 32.4%로 조사되었다고 하였는데, 이는 전국을 대상으로 한 분석 결과로 본 연구 결과와 다소 차이는 있으나, 비슷한 경향을 보여준다.

**Table 4.** Number and distribution ratio in terms of topography.

Topography	Valley/ Alluvial fan	Mountain foot	Fluvio-marine deposit	Lava terrace	River alluvium	Diluvial deposit
Number (distribution, %)	87 (45.5)	7 (3.7)	1 (0.5)	23 (12.0)	70 (36.6)	3 (1.6)

**연도별 토양물리 특성** 논 의 작토심 평균은 2007년에 19.2 cm, 2011년에 11.3 cm, 2012년에 19.3 cm, 2015년에 16.1 cm, 2019년에 18.7 cm, 2023년에 19.1 cm로, 2007년과 2012년을 제외하면 점차 증가하는 경향을 나타내고 있다 (Fig. 1). 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.



**Fig. 1.** Change in plowing depth from 2007 to 2023.

강원지역 표토의 전용적밀도는 2007년에  $1.30 \text{ Mg m}^{-3}$ , 2011년에  $1.38 \text{ Mg m}^{-3}$ , 2012년에  $1.31 \text{ Mg m}^{-3}$ , 2015년에  $1.30 \text{ Mg m}^{-3}$ , 2019년에  $1.25 \text{ Mg m}^{-3}$ , 2023년에  $1.25 \text{ Mg m}^{-3}$ 으로 조사되었다. 2011년을 제외하면 지속적으로 조금씩 감소하고 있어, Hur et al. (2023)의 전국 대상 자료와도 같은 경향을 나타내었다. 심토의 전용적밀도는 2007년에  $1.46 \text{ Mg m}^{-3}$ , 2011년에  $1.57 \text{ Mg m}^{-3}$ , 2012년에  $1.56 \text{ Mg m}^{-3}$ , 2015년에  $1.56 \text{ Mg m}^{-3}$ , 2019년에  $1.58 \text{ Mg m}^{-3}$ , 2023년에  $1.55 \text{ Mg m}^{-3}$ 로 큰 변화는 보이지 않았다 (Fig. 2). ‘농업 자원과 농업 환경의 실태조사 및 평가기준’ 고시에서 전용적 밀도의 적정기준이 사양질 토양은  $1.5 \text{ Mg m}^{-3}$ 보다 작아야 하는데, 2011년 23개소 중 16개소가, 2012년 28개소 중 21개소가, 2015년 32개소 중 24개소가, 2019년 29개소 중 23개소가, 2023년 32개소 중 8개소가 기준을 초과하였으며, 사양질 토양은  $1.4 \text{ Mg m}^{-3}$ 보다 작아야 하는데 2007년은 9개소 중 6개소가, 2011년 7개소 중 7개소가, 2012년 2개소 중 1개소가, 2015년 10개소 중 9개소가, 2019년 11개소 중 9개소가, 2023년 8개소 중 6개소가 기준을 초과하였다.

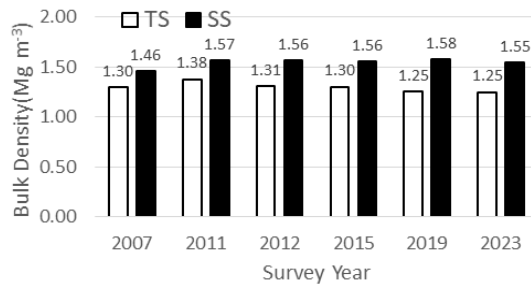


Fig. 2. Change in bulk density from 2007 to 2023 (TS: topsoil, SS: subsoil).

강원지역 논토양의 전용적밀도 특성을 평가하기 위해 연도별 분포를 검토하였다 (Fig. 3). 식양질 논토양 심토의 적정기준인 1.4 Mg m<sup>-3</sup>보다 큰 값을 보이는 비율이 2007년에 표토 0.0%, 심토 66.0%, 2011년에는 표토 40.0%, 심토 90.0%, 2012년에는 표토 20.0%, 심토 90.0%, 2015년에는 표토 19.0%, 심토 92.5%, 2019년에는 표토 10.0%, 심토 92.5%, 2023년에는 표토 12.5%, 심토 87.5%를 보여주고 있다. 표토는 2012년 이후부터 감소하는 경향이지만, 심토는 2011년 이후에는 90% 이상을 나타내고 있어 상당히 악화되고 있다. 이러한 결과는 전국의 논토양을 대상으로 연구한 Hur et al. (2023)의 결과와 비슷한 경향을 나타내었다. 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). 특히 강원지역 심토의 경우, 심토 적정기준인 1.4 Mg m<sup>-3</sup>보다 큰 지점의 비율이 전국 대상 자료와 비교할 때 지속적으로 높게 나타나고 있어 심토의 전용적밀도 개선을 위한 노력이 필요하다.

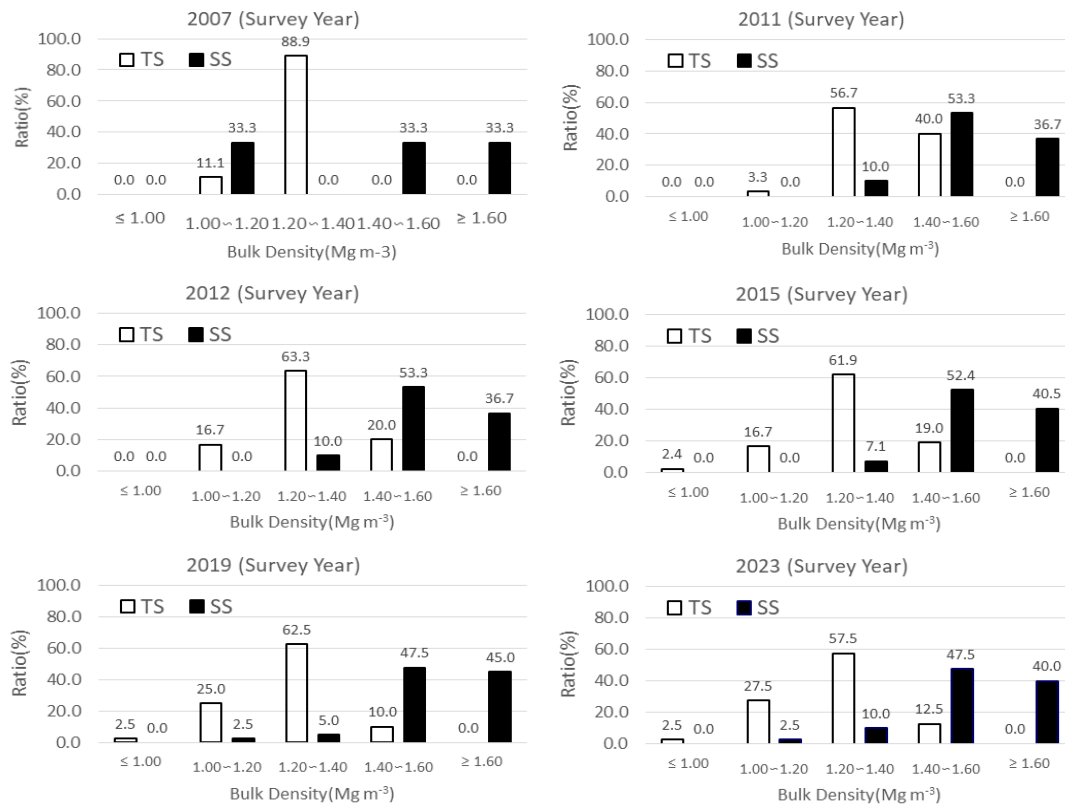


Fig. 3. Distribution change in bulk density from 2007 to 2023 (TS: topsoil, SS: subsoil).

유기물은 입단형성 촉진과 전용적밀도 변화와 밀접한 관련이 있어, 2011년부터 분석하기 시작하였다. 강원지역의 논 토양의 표토 유기물 함량은 2011년에  $22.8 \text{ g kg}^{-1}$ , 2012년에  $20.2 \text{ g kg}^{-1}$ , 2015년에  $21.3 \text{ g kg}^{-1}$ , 2019년에  $25.9 \text{ g kg}^{-1}$ 이었다가 2023년에  $25.8 \text{ g kg}^{-1}$ 으로 증가되었다. 심토 유기물 함량은 2011년  $19.3 \text{ g kg}^{-1}$ , 2012년  $13.1 \text{ g kg}^{-1}$ , 2015년  $17.4 \text{ g kg}^{-1}$ , 2019년  $18.0 \text{ g kg}^{-1}$ 이었다가 2023년  $22.5 \text{ g kg}^{-1}$ 으로 증가하였다. 표토와 심토 모두 2012년 감소하였다가 이후 지속적으로 증가하는 경향이였다 (Fig. 4). 심토의 유기물 함량 변화는 Kwak et al. (2024)의 전남지역 심토 유기물 함량 변화와 비슷한 경향을 나타내었다.

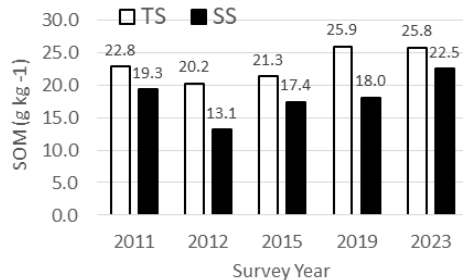


Fig. 4. Change in soil organic matter (SOM) from 2007 to 2023 (TS: topsoil, SS: subsoil).

강원지역 논토양의 경도는 2007년 표토 11.8 mm, 심토 21.0 mm, 2011년 표토 15.5 mm, 심토 19.9 mm, 2012년 표토 13.1 mm, 심토 18.6 mm, 2015년 표토 10.3 mm, 심토 16.4 mm, 2019년 심토 20.8 mm, 그리고 2023년 표토 17.8 mm, 심토 21.97 mm 이었다 (Fig. 5). 2017년 제정된 ‘농업 자원과 농업 환경의 실태조사 및 평가기준’ 고시에 따라 2019년의 표토 경도 자료는 조사하지 않았으나, 지속적인 표토 경도의 모니터링을 위하여 2023년부터는 표토의 경도도 다시 조사하였다. 고시의 기준에 따르면 심토의 경도 적정 기준이 20 mm 이하이므로 강원지역 논토양의 경도는 2015년까지는 감소하여 적정 범위였으나, 2019년 이후는 증가하여 적정 범위 보다 높았다. 이는 Hur et al. (2023)의 전국 논토양 심토의 경도는 2015년까지 적정 경도 범위보다 높다가, 2019년에 적정범위에 들어왔다는 보고와는 다른 경향으로 나타났다.

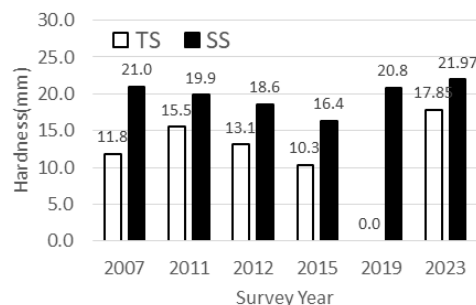


Fig. 5. Change of average hardness by survey year (TS: topsoil, SS: subsoil).

강원지역 논토양에 대한 조사기간 전체의 토성별 분포는 Fig. 6에 나타내었다. 조사기간 동안 시기별 토성분포는 Fig. 7에 나타내었다. 조사된 강원지역 논토양 토성을 전체적으로 살펴보면 10개 토성이 조사되었으며, 표토에서 사양토, 양토, 실트질양토의 분포가 83.8%를 차지하고 있으며, 심토에서도 같은 3개 토성이 84.3%를 나타내었다. 그 다

음 비율을 차지하는 토성은 실트질식양토, 양질사토, 사토, 사질식양토, 식양토, 실트질식토, 실트토의 순이었다. 강원 지역 논토양에서는 식토와 사질식토는 나타나지 않았으며, 1번만 조사된 토성으로는 2007년에 실트질식토, 2011년에 사토, 그리고 2023년에 실트토였다. 2012년에 사양토의 비율이 70%이상으로 나타나, 2015년 조사지점 선정시 조정이 되었다. 조사자료에서 토성 밀집 현상은 한국 토양총설(ASI, 1992)에서 논토양의 표토 토성별 분포 면적자료와도 비슷한 경향이었으며, 사양토, 양토, 실트질양토의 비율합이 전국 90.4 %, 강원 91.5 %로 강원지역 자료 대비 7.7%의 차이를 나타내었다.

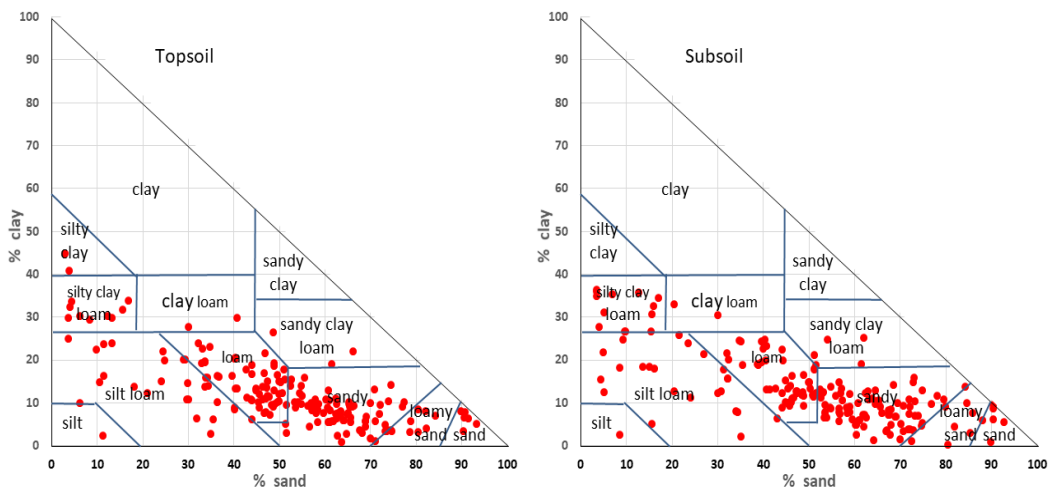


Fig. 6. Distribution of soil texture of paddy soils in Gangwon State from 2007 to 2023.

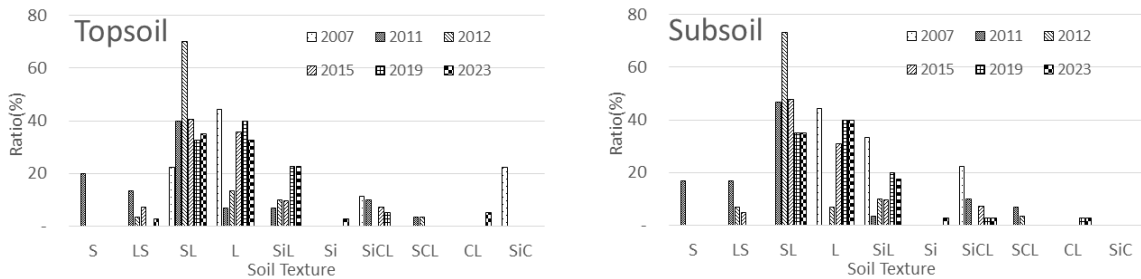


Fig. 7. Distribution ratio of soil texture from 2007 to 2023 (TS: topsoil, SS: subsoil). S (sand), LS (loamy sand), SL (sandy loam), L (loam), SiL (silty loam), Si (silt), SiCL (silty clay loam), SCL (sandy clay loam), CL (clay loam), SiC (silty clay), SC (sandy clay), C (clay).

## Conclusions

토양물리성 변동조사는 농업환경 변동조사 사업의 한 분야로 2007년부터 시작 되었으며, ‘(약칭)친환경 농어업법’의 위임을 받은 농촌진흥청의 고시 (2017-12호) ‘농업자원과 농업환경의 실태조사 및 평가기준’에 따라 수행되고 있다. 본 연구는 강원지역의 토양물리성 변동조사 결과를 바탕으로 연도별 추이와 그 변화 양상을 평가하고자 하였다. 강원지역 조사대상 논 토양의 주요 토양통은 강원지역 논토양의 면적 분포가 많은 사촌통, 남계통, 강서통이었으며,

주요 지형 특성은 곡간지/선상지와 평탄지에 주로 분포하고 있었다. 토양물리 특성 변화를 보면, 강원지역 논 토양의 작토심은 적정깊이 20 cm 미만이었으나, 2015년 이후 지속적으로 깊어지고 있는 경향이었으며, 심토의 전용적밀도는 조사시기별 평균이 1.46 - 1.57 Mg m<sup>-3</sup>의 범위로 적정 기준을 대부분 초과하는 것으로 나타났다. 유기물 함량은 표토와 심토 모두 증가하는 경향을 나타내었으며, 심토의 경도는 2015년까지 적정 기준인 20 mm 보다 낮았으나, 2019년과 2023년에 적정 기준보다 높아졌다. 토성의 분포는 전체적으로 10개 토성이 조사되었으며, 주요 토성은 사양토, 양토, 실트질양토였다. 종합적으로 볼 때, 강원지역 논 토양의 물리적특성은 작토심과 유기물 함량은 증가하고 있으나, 전용적밀도와 경도는 높은 경향을 나타내어, 전용적밀도와 경도를 개선하는 토양개량이 필요하다.

## Funding

This study was conducted by support of NAS research and development project (Project number: PJ01556703).

## Conflict of Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

## Author Contribution

**Kim KD:** Sampling, analysis, Writing-original draft, **Hong SY:** Writing-review & editing, **Hong SY:** Sample analysis, Writing-review & editing, **Seo YH:** Supervision, Conceptualization, Writing-review & editing, **Kim KS:** Conceptualization, Writing-review & editing.

## Data Availability

Data will be provided on reasonable request.

## Acknowledgement

The authors thanks RDA for providing the research sites and experimental materials.

## References

- 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. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107060>
- ASI (Agricultural Sciences Institute). 1992. Korean soil interpretation guide. Rural Development Administration,

Suwon, Korea.

- 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. <https://doi.org/10.7745/KJSSF.2012.45.3.344>
- 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 use types in Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 36:567-575. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2018.36.4.567>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2003.09.004>
- 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. <https://doi.org/10.7745/KJSSF.2023.56.4.354>
- Jo IS, Jung PK, Kim LY, Ha SK, Chung DY. 2009. Soil physical properties and soil conservation. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 42:28-52.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106835>
- Kang SW, Yoo CH, Han SS. 1999. Effects of improvement of soil physical property & diagnostic fertilization on yield and N-use efficiency in puddled soil drill seeding of rice. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 32:254-260.
- KSIS (Korea Soil Information System). 2024. Statistical data: Soil series, Sign. <http://soil.rda.go.kr/soil/chart/chart.jsp> (accessed on Sep. 1, 2024).
- Kwak KJ, Kim HJ, Kim SW, Lee SY, Shin GH, Lee JW, Hur SO. 2024. Temporal variation in soil physical properties of paddy fields in Jeonnam province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 57:48-54. <https://doi.org/10.7745/KJSSF.2024.57.1.048>
- NAS (National Institute of Agricultural Science). 2022. Survey and analysis methods for soil physical properties of agricultural land. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Jeonju, Korea.
- NAS (National Institute of Agricultural Science). 2009. Monitoring project on agri-environment quality in Korea. RDA, Wanju, Korea.
- NAS (National Institute of Agricultural Science). 2021. Monitoring project on agri-environment quality for 22 years in Korea. RDA, Wanju, Korea.
- NIAS (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2000. Methods of soil and plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Obade VDP, Lal R. 2016. A standardized soil quality index for diverse field condition. *Sci. Total Environ.* 541: 424-434. <https://doi.org/10.1016/J.scitotenv.2015.09.09>
- 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. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12016>
- 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. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00423-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00423-0)
- Shin BW, Yoo CH, Lee SB, Kim JS. 1996. Effect of tillage methods on soil physiochemical properties and rice yield in paddy soil. pp. 406-411. Research Report. National Institute of Crop Science (NICS), RDA, Iksan, Korea.
- 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.