

Short communication

https://doi.org/10.7745/KJSSF.2017.50.5.482  
pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

# The Study of Improvement of Measurement Precision on Bulk Density, Soil Hardness and Air Permeability in Upland Soils

Jung-hun Ok, Kyung-hwa Han\*, Hee-rae Cho, Yong-seon Zhang, Young-ho Seo<sup>1</sup>, Kang-ho Jung, Hyub-sung Lee, and Gi-sun Kim  
Division of Soil and Fertilizer, National Institute of Agricultural Science, RDA, Wanju 55365, Korea  
<sup>1</sup>Gangwon Agricultural Research & Extension Services, Chuncheon 24226, Korea

\*Corresponding author: bearthink@korea.kr

## ABSTRACT

**Received:** September 19, 2017  
**Revised:** November 5, 2017  
**Accepted:** November 6, 2017

The measurement based on reliable standard operating procedures (SOPs) is important for consistent information. The objective of this study is to investigate reliable SOPs of soil physical methods, including core method for bulk density, Yamanaka hardness, and air permeameter method for air permeability. The coefficients of variation in bulk density (core method), Yamanaka hardness, and air permeability were ranged of 1~6%, 8~13%, and 10~84%, respectively. The variation in situ measurement such as bulk density, hardness, and air permeability due to spatial variability at measuring site was larger due to the number of replicates, organic matter content, and soil texture. Nevertheless, air permeability had different values as different number of replicates, and thus, it is thought that more replicates can result in higher reliability. It suggested that investigation of soil physical properties for the target sites should required to consider about soil texture, organic matter content, and number of replications before measurement. In conclusion, core sampling for bulk density measurement in upland soil recommended to perform in 3 repetitions with 2 inch core, and 3 inch core sampling for higher organic matter content.

**Keywords:** Soil bulk density, Hardness, Air permeability, Upland soil

Bulk density as affected by different organic matter content and number of replicates using 3" and 2" core.

The range of organic mater content (g kg <sup>-1</sup> )	Type of core	The number of replicates			Number of samples
		3	5	10	
----- Bulk density (Mg m <sup>-3</sup> ) -----					
0-100	3" core	1.30 ± 0.04 <sup>†</sup>	1.31 ± 0.04	1.30 ± 0.04	34 samples
	2" core	1.29 ± 0.04	1.29 ± 0.06	1.28 ± 0.06	
0-10	3" core	1.36 ± 0.05	1.35 ± 0.04	1.36 ± 0.04	6 samples
	2" core	1.37 ± 0.02	1.36 ± 0.03	1.37 ± 0.04	
10-50	3" core	1.39 ± 0.05	1.38 ± 0.06	1.38 ± 0.06	22 samples
	2" core	1.39 ± 0.05	1.39 ± 0.05	1.40 ± 0.05	
50-100	3" core	1.17 ± 0.06	1.15 ± 0.06	1.15 ± 0.07	6 samples
	2" core	1.19 ± 0.06	1.21 ± 0.07	1.21 ± 0.05	

<sup>†</sup>Data are presented as means ± standard deviations (SD) of the results based on the corresponding replications.



## Introduction

토양의 물리적 특성을 나타내는 지표는 다양하며 현지토양의 채취, 측정, 분석, 측정결과 해석 등의 절차로 나타난다. 그 중에서도 주로 사용되고 있는 기본분석은 용적밀도, 토양경도, 통기성 등을 통한 방법이다 (Cornelis et al., 1999; Lowery and Morrison, 2002). 이러한 분석 및 측정방법은 용적밀도는 코아법, 토양경도는 야마나카 경도계 (Yamanaka hardness), 통기성 측정은 일본의 air-float type 으로서 Daiki사의 DIK-5001 장치를 관행적으로 사용하여 왔고, 표준분석법화 되어져 가고 있다 (NASS, 2003).

용적밀도와 토양경도 등의 토양 물리성 분석은 현장에서 측정하여 토양의 다짐 정도와 작물의 뿌리생육에 관하여 바로 진단을 내릴 수 있어 유용성이 크다고 할 수 있다 (Han et al., 2011). 하지만 현장에서 물리적 특성을 분석하는 경우, 한번 산정된 결과들이 얼마만큼의 정확성을 가지는 것이냐에 대한 정도관리의 문제는 지속적으로 제기되어 왔으며, 분석결과 변화는 비슷한 토양이라 하더라도 환경인자, 시간, 장소에 따라 다르게 나타난 것이라고 판단하였다 (Han et al., 2011). 이와 같은 것에 대한 충분한 근거가 부족하여 측정치에 대한 확신을 갖기에도 부족한 부분이 있는 것 또한 사실이었다.

따라서 본 연구는 용적밀도, 토양경도, 통기성 측정에 있어서 측정결과 정도를 높이기 위해서 표준 수행절차를 거침에도 나타날 수 있는 불확도를 비교·분석하여 측정의 신뢰도를 높이고 현장측정 정도관리를 위한 방안을 모색하고자 연구를 수행하였다.

## Materials and Methods

토양 시료 채취는 2인치 및 3인치 2종류의 코아를 사용하였다. 채취 지점은 17지점 (충남 서산시, 전북 김제시, 전북 부안군, 전남 나주시, 전남 장성군, 충남 공주시, 충남 천안시, 경기도 화성시1, 강원도 속초시, 강원도 강릉시1, 강원도 강릉시2, 강원도 강릉시3, 강원도 평창군, 강원도 원주시, 충북 충주시, 경기도 화성시2, 경남 밀양군)으로 밭토양에 대하여 10 반복으로, 현지 토양의 표토와 심토를 충분히 숙달된 숙련자가 코어샘플링 및 토양경도 측정을 실시하여 그 결과를 비교·분석하였다. 채취한 토양의 용적밀도 (가밀도, 가비중)는 토양 및 식물체분석법 (NAAS, 2011) 및 Core법 (Blake and Hartge, 1986; Klute, 1986)에 따라서 측정하였다. 토양경도의 측정은 일본 Daiki사의 Yamanaki (山中式) 토양경도계를 사용하여 용적밀도 측정지점과 동일한 지점에서 10반복으로 측정하였다.

토층 내 수직경도분포를 측정하기 위하여 통기성의 측정은 일본 Daiki사의 DIK-5001 통기성 측정 장치로 수직경도분포와 동일한 지점 수직단면에 대하여 0~5 cm, 0~10 cm, 0~15 cm에 대하여 각 5반복씩 측정하였다.

## Results and Discussion

**용적밀도 (코아법)** 용적밀도 (코아법)의 측정은 주로 부피 100 mL의 2인치 코아를 이용하여 수행되어진다. 자갈이나 돌이 많은 토양에서는 코아의 채취 자체가 힘든 경우가 많다. 일정 용적을 채취하여 분석하는 방법의 경우 용량이 클수록 토양 자체의 변이에 의한 편차를 줄일 수 있다. 따라서 본 연구에서는 3인치 코아로 용적밀도를 함께 측정하여 2인치 코아 측정결과와 비교하였다. 실험자는 토양물리성 조사 연구경력이 20년 이상인 전문가로 토양시료채취 측정절차의 변이에 따른 편차는 최소화하였다고 판단하였다. 2인치 코아의 용적의 경우 약  $\pm 1$  mL 이하의 용적차이가

존재하였으나, 3인치 코아의 경우  $\pm 10$  mL 이하의 용적차이가 존재하여 B형 불확도가 큼을 알 수 있었다. 토양자체의 공간변이성으로 용적밀도 값에 미치는 영향을 알아보기 위하여 토양을 유기물함량과 토성에 따라 나누고 반복수를 3반복, 5반복, 10반복으로 달리하여 분석하였다. 3인치와 2인치 코아 간의 비교에서는 약  $0.00\sim 0.06$   $\text{Mg m}^{-3}$ 의 범위에서 차이를 나타냈으며, 특히 유기물 함량이 높은 토양에서 그 차이가 더 크게 나타났다. 샘플링 반복수 (3회, 5회, 10회)에 따른 평균값의 차이는  $0.00\sim 0.02$   $\text{Mg m}^{-3}$ 의 범위를 보였고 표준편차의 변이도 크지 않았다 (Table 1).

**Table 1.** Bulk density as affected by different organic matter content and number of replicates using 3" and 2" core.

The range of organic matter content ( $\text{g kg}^{-1}$ )	Type of core	The number of replicates			Number of samples
		3	5	10	
----- Bulk density ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) -----					
0-100	3" core	$1.30 \pm 0.04^\dagger$	$1.31 \pm 0.04$	$1.30 \pm 0.04$	34 samples
	2" core	$1.29 \pm 0.04$	$1.29 \pm 0.06$	$1.28 \pm 0.06$	
0-10	3" core	$1.36 \pm 0.05$	$1.35 \pm 0.04$	$1.36 \pm 0.04$	6 samples
	2" core	$1.37 \pm 0.02$	$1.36 \pm 0.03$	$1.37 \pm 0.04$	
10-50	3" core	$1.39 \pm 0.05$	$1.38 \pm 0.06$	$1.38 \pm 0.06$	22 samples
	2" core	$1.39 \pm 0.05$	$1.39 \pm 0.05$	$1.40 \pm 0.05$	
50-100	3" core	$1.17 \pm 0.06$	$1.15 \pm 0.06$	$1.15 \pm 0.07$	6 samples
	2" core	$1.19 \pm 0.06$	$1.21 \pm 0.07$	$1.21 \pm 0.05$	

<sup>†</sup>Data are presented as means  $\pm$  standard deviations (SD) of the results based on the corresponding replications.

3인치와 2인치 코아를 사용하여 토성에 따른 용적밀도의 차이에서는  $0.01\sim 0.03$   $\text{Mg m}^{-3}$ 의 범위를 보여 토성에 따라 용적밀도의 변화에는 유의적인 차이를 보이지는 않았다 (Table 2). 비슷한 토성에서 반복수에 따른 용적밀도 평균값의 차이는  $0.00\sim 0.02$   $\text{Mg m}^{-3}$ 의 범위였으며 표준편차의 변이도 마찬가지로 크지 않았다 (Table 2).

**Table 2.** Bulk density as affected by different soil texture and number of replicates using 3" and 2" core.

Texture group	Type of core	The number of replicates			Number of samples
		3	5	10	
----- Bulk density ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) -----					
Sand loamy	3" core	$1.34 \pm 0.03^\dagger$	$1.33 \pm 0.05$	$1.32 \pm 0.05$	12 samples
	2" core	$1.32 \pm 0.05$	$1.32 \pm 0.05$	$1.33 \pm 0.05$	
Loamy	3" core	$1.31 \pm 0.03$	$1.30 \pm 0.06$	$1.30 \pm 0.06$	12 samples
	2" core	$1.33 \pm 0.05$	$1.33 \pm 0.05$	$1.33 \pm 0.05$	
Clay loamy	3" core	$1.40 \pm 0.03$	$1.39 \pm 0.05$	$1.38 \pm 0.06$	10 samples
	2" core	$1.39 \pm 0.05$	$1.40 \pm 0.05$	$1.41 \pm 0.05$	

<sup>†</sup>Data are presented as means  $\pm$  standard deviations (SD) of the results based on the corresponding replications.

전국 34개 토양을 대상으로 조사한 용적밀도의 표준편차는  $0.02\sim 0.07$   $\text{Mg m}^{-3}$ 였고 변이계수는 1~6%를 나타냈다. 본 결과에 의하면, 용적밀도를 코아법으로 측정할 경우 2인치 코아와 3인치 코아에 큰 차이는 없는 것으로 판단할 수

있다. 다만, 유기물 함량이 높은 경우에 2인치 코아에서는 압밀 현상이 발생할 가능성이 높아 용적밀도가 3인치보다 크게 나타나는 것으로 판단된다. 유기물 함량이 높은 토양에서는 3인치 코아를 활용하여 측정하는 것이 보다 신뢰성을 높이는 방법이라 생각된다. 반복수의 경우, 3반복과 10반복 간의 평균값은 두 반복간에 유의적인 차이없이 거의 유사한 값을 나타냈으므로 3반복으로 조사를 수행하는 것도 충분히 신뢰성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다 (Table 1).

결과적으로 용적밀도 측정을 위한 코아 샘플링은 2인치 코아로 3반복으로 실시하되 토양 중 유기물함량이 높은 곳은 3인치 코어 샘플링을 권장해야 토양물리성 조사 정도를 향상시킬 수 있다고 생각되었다.

**토양경도** 토양경도는 아마나카 경도 측정 방법을 활용하여 비교·분석하였다. 아마나카 경도는 측정지점의 표면 특성만을 보는 것이다. 아마나카 경도로 조사한 결과, 표준편차는 1.22~1.86 mm로 분포하였고 변이계수는 8~13%로 나타났다. 유기물함량에 따라 편차의 증감은 뚜렷하게 나타나지 않았으며 반복수에 따라 아마나카 경도의 차이는 0~0.3 mm로 표준편차에 비해 작은 값을 나타내었다. 토성에 따라서도 비슷한 결과를 나타내었으나 유기물함량이 높은 토양에서 반복수에 따라 다소 값이 다르게 나타났다 (Table 3, 4). 토양경도는 토양에서 작물의 뿌리신장의 용이성을 판단할 수 있는 지표로서 원추의 후진한 길이 mm를 그대로 활용하고 있다 (NAAS, 2011). 일반적으로 21 mm 미만이면 양호하다고 할 수 있으며, 채소류는 18 mm, 과수는 25 mm가 넘으면 뿌리뺨음에 제한이 있다는 보고가 있으나 (Han et al., 2011; NAAS, 2011), 본 연구에서는 평균이 9.9~17.4 mm의 범위를 나타내어 작물의 뿌리뺨음에는 다소 양호한 지점이 대부분이었다.

**Table 3.** Yamanaka hardness as affected by different organic matter content and number of replicates.

The range of organic matter content (g kg <sup>-1</sup> )	Yamanaka hardness (mm)	The number of replicates			Number of samples
		3	5	10	
0-100	Yamanaka	14.0 ± 1.22 <sup>†</sup>	14.0 ± 1.59	13.9 ± 1.69	34 samples
0-10	Yamanaka	10.2 ± 1.22	10.2 ± 1.59	9.9 ± 1.69	6 samples
10-50	Yamanaka	14.2 ± 1.23	14.0 ± 1.82	13.9 ± 1.86	22 samples
50-100	Yamanaka	17.3 ± 1.52	17.4 ± 1.35	17.4 ± 1.76	6 samples

<sup>†</sup>Data are presented as means ± standard deviations (SD) of the results based on the corresponding replications.

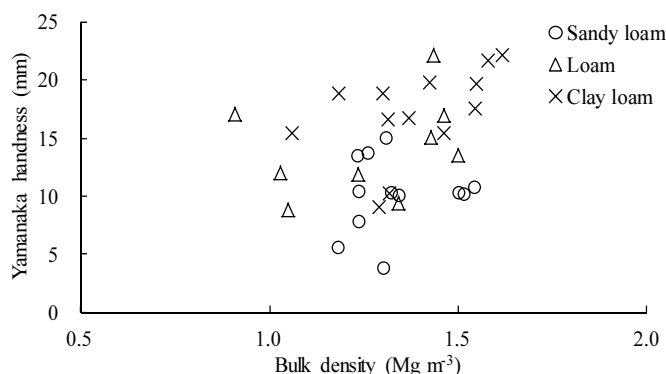
**Table 4.** Yamanaka hardness as affected by different soil texture and number of replicates.

Texture group	Yamanaka hardness (mm)	The number of replicates			Number of samples
		3	5	10	
Sand loamy	Yamanaka	10.8 ± 0.97 <sup>†</sup>	10.2 ± 1.70	10.0 ± 1.66	12 samples
Loamy	Yamanaka	14.8 ± 1.15	14.8 ± 1.37	14.8 ± 1.48	12 samples
Clay loamy	Yamanaka	17.2 ± 1.48	17.1 ± 1.83	16.8 ± 2.22	10 samples

<sup>†</sup>Data are presented as means ± standard deviations (SD) of the results based on the corresponding replications.

본 조사 결과에서 나타난 34개소의 용적밀도와 토양경도와의 관계를 Fig. 1에서 보면 전체 유의성은 5%의 유의성을 보이는 정의 상관관계를 보였다. 토성별로 두 인자 사이의 상관관계를 보면 각기 다른 경향을 보이는데 사양토의

경우에는 전체적으로 용적밀도에 비해 토양경도가 낮은 경향이였다. 식양토이 경우에는 이와는 반대의 경향을 보였으며 양토의 경우에는 골고루 분포되는 경향이였다. 이러한 경향은 토성별 마찰저항력이 다르기 때문에 나타나는 것이며 동일한 용적밀도라 하더라도 식물뿌리 신장에 점토함량이 높은 식양질에서 사양질보다 불리하다는 것을 나타내어 주고 있는 것이다.



**Fig. 1.** Relationship between bulk density and Yamanaka hardness (N=34,  $r=0.32$ ) for 3 soil textures including sandy loam, loam, and clay loam.

**통기성** 통기성은 통기성 측정장치를 이용하여 현장에서 측정하였다. 통기성의 표준편차는  $0.1\sim 16.1 \text{ cm sec}^{-1}$ 로 분포하였고 반복간 차이도  $0.1\sim 8.0 \text{ cm sec}^{-1}$ 로 나타났으며 변이계수는 10~84%를 보였다. 용적밀도와 토양경도보다 통기성이 이처럼 편차가 큰 이유는 토양의 수분함량, 공극의 형태와 크기 등의 변이성에 더욱 민감하기 때문이라 판단할 수 있었다 (Dick, 2002). 깊이별로는 토심이 깊어질수록 표준편차가 대체로 증가하는 경향을 보였다 (Table 5).

**Table 5.** Air permeability as affected by different organic matter content and number of replicates.

The range of organic mater content ( $\text{g kg}^{-1}$ )		The number of replicates		Number of site
		3	5	
----- Air permeability ( $\text{cm sec}^{-1}$ ) -----				
0-100	5 cm	$3.1 \pm 1.6^{\dagger}$	$3.7 \pm 1.7$	17 sites
	10 cm	$3.4 \pm 2.0$	$4.4 \pm 2.4$	
	15 cm	$3.7 \pm 2.4$	$5.5 \pm 4.1$	
0-10	5 cm	$1.1 \pm 0.1$	$1.0 \pm 0.1$	3 sites
	10 cm	$1.5 \pm 0.2$	$1.4 \pm 0.2$	
	15 cm	$1.4 \pm 0.2$	$1.4 \pm 0.2$	
10-50	5 cm	$1.8 \pm 0.7$	$1.9 \pm 0.8$	11 sites
	10 cm	$1.5 \pm 0.7$	$1.6 \pm 0.7$	
	15 cm	$1.5 \pm 0.7$	$1.5 \pm 0.6$	
50-100	5 cm	$9.7 \pm 6.4$	$12.9 \pm 6.5$	3 sites
	10 cm	$11.8 \pm 8.1$	$16.7 \pm 10.0$	
	15 cm	$11.1 \pm 8.8$	$19.1 \pm 16.1$	

<sup>†</sup>Data are presented as means  $\pm$  standard deviations (SD) of the results based on the corresponding replications.

위의 결과를 종합하면 용적밀도 (코아법), 아마나까 경도, 통기성의 변이계수는 1~6%, 8~13%, 10~84%로 통기성 측정의 불확실성이 가장 크고 그 다음이 토양경도, 용적밀도 순이었다. 반복수 및 유기물함량, 토성에 의한 영향은 측정 자체의 변이성에 비해 낮았다. 그러나 본 연구에서 통기성의 경우는 반복수에 따른 변이성이 크게 나타나 측정의 신뢰성을 높이기 위해서는 반복수를 많이 하는 것이 유리할 것으로 판단된다 (Reynolds et al., 2002). 현장분석에서 변이성을 유발하는 요인은 매우 다양하며, 이는 토양자체특성뿐 아니라 측정당시 토지이용형태 및 토지이용이력 등에 의해 나타날 수 있다 (Dick, 2002; Topp et al., 1997).

## Conclusions

토양물리분석 즉 용적밀도 (코아법), 토양경도 (아마나까 경도), 통기성 측정치의 신뢰성을 높이고자 SOPs를 설정하는 연구를 수행하였다. 용적밀도의 경우 2인치 코아와 3인치 코아와 대체로 유사한 결과를 보였으나 유기물 함량이 높은 토양에서는 3인치 코아를 활용하는 것이 보다 효과적인 것으로 나타났다. 용적밀도 (코아법), 아마나까 경도, 통기성의 변이계수는 1~6%, 8~13%, 10~84%로 나타났으며, 반복수 및 유기물함량, 토성에 의한 영향은 측정 자체의 변이성에 비해 낮게 나타났다. 반면, 통기성의 경우는 반복수에 따른 변이성이 크게 나타나 측정의 신뢰성을 높이기 위해서는 반복수를 많이 하는 것이 유리할 것으로 판단되었다. 따라서 토양물리성 분석의 경우 토양 자체의 변이성에 의한 불확실성이 매우 높으므로 측정의 신뢰성을 높이기 위해서는 대상 지점의 유기물함량 및 토성 등에 대한 충분한 검토가 우선적으로 선행되어야 하며, 용적밀도 측정을 위한 코아 샘플링은 2인치 코아로 3반복으로 실시하되 토양 중 유기물함량이 높은 곳은 3인치 코아 샘플링을 활용하여야 토양물리성 조사의 신뢰성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

## Acknowledgement

This work was supported by the “Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ01086702),” Rural Development Administration, Republic of Korea.

## References

- Blake, G. R., and K. H. Hartge. 1986. Bulk density. In A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis*. Part 1. 2nd (ed.) Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. 363-375.
- Cornelis, W., R. Hartmann, H. Verplancke, and D. Gabriels. 1999. *Practical exercises manual: Soil physical characteristics and Processes*. University of Gent, International Centre for Eremology.
- Dick, W. A. 2002. *Method of soil analysis: Part 4. Physical methods*.
- Han, K. H., H. R. Cho, S. H. Jeon, and Y. S. Zhang. 2011. A study of relation between Yamanaka hardness and penetrometer cone index. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:344-346.
- Klute, A. 1986. *Method of soil analysis: Part 1. Physical and mineralogical methods second edition*.
- Lowery, B., and J.E. Morrison, J.R. 2002. Soil penetrometers and penetrability in method of soil analysis Part 4. *Physical methods* (Ed). Dick, W.A., Published by soil science society of america book series.
- Madison, Wisconsin, USA. Motavalli, P.P., S.H. Anderson, P. Pengthamkeerati, and C.J. Gantzer. 2003. Use of soil cone penetrometers to detect the effects of compaction and organic amendments in claypan soils. *Soil Till. Res.*

74:103-114.

NAAS. 2003. Workshop for application of quality assurance and quality control system in soil and agricultural environment. National Academy of Agricultural Science. RDA. Suwon, Korea.

NAAS. 2011. Soil and plant analyses. National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, Korea.

Reynolds, W.D., B.T. Bowman, C.F. Drury, C.S. Tan, and X. Lu. 2002. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma* 110:131-146.

Topp, G. C., W. D. Reynolds, F. J. Cook, J.M. Kirby, and M.R. Carter. 1997. Physical attributes of soil quality. In: Gregorich, E.G., M.R. Carter. (Eds.).