

## 토양 경도 측정방법간 비교연구

한경화 · 조희래 · 전상호 · 장용선\*

농촌진흥청 국립농업과학원 토양비료관리과

### A Study of Relation Between Yamanaka Hardness and Penetrometer Cone Index

Kyung Hwa Han, Hee-Rae Cho, Sang-Ho Jeon, and Yong-Seon Zhang\*

Soil & Fertilizer Management Division, NAAS, RDA, Suwon 441-707, Korea

This study was conducted in order to compare between Yamanaka hardness (YA), hand-push type, and penetrometer cone index (PE), on 16 upland sites. Yamanaka hardness had significant correlation with penetrometer cone index. The regression equation was  $PE=1.80*YA+0.16$  ( $R^2=0.91^{***}$ ,  $N=16$ ) with the applicative YA range of 0.1-1.3 MPa.

**Key words:** Yamanaka hardness, Penetrometer cone index

## 서 언

토양경도는 토양에서 뿌리신장이 용이한지 그렇지 못한지를 판단할 수 있는 측정치로 Hand-push형, 관입식 경도계 등 다양한 형태의 기기로 측정되고 있다. 최근 대형 농기계의 사용 증가와 도시화·산업화로 인한 토지의 인위적 교란으로 토양다짐 등 물리성 악화가 심화되고 있어 토양경도의 측정이 더욱 중요해지고 있다 (Lowery and Morrison, 2002; Raper, 2005). 특히 용적밀도 등의 다른 토양 물리성 분석에 비해 현장에서 측정하여 바로 진단을 내릴 수 있다는 데 있어 유용성이 크다. 관입식 경도계의 경우 깊이 에 따른 토양경도의 변화를 그래프로 나타내는데, 이로부터 토양피각형성정도, 작물근권, 쟁기바다층의 두께 등을 추정할 수 있다 (Jong et al., 2011; Motavalli et al., 2003). 관입식 토양경도계 (Cone penetrometer)의 주 구성요소는 원추 (Cone), 붕, 관입저항기록계로 원추의 관입저항은 단면적 당 힘 즉 압력 (MPa)로 기록되며 이를 Cone index라 한다 (Lowery and Morrison, 2002). 그러나 우리나라에서 작물뿌리신장과 관련된 토양경도의 지표는 Hand-push형인 산중식 경도계로 산정되어 있다. 산중식 경도계는 반경 0.9 cm, 높이 4 cm의 금속원추에, 4 cm 수축에 8 kg의 힘이 필요한 용수철이 연결되어 있으며 토양에 직각으로 눌렀을 때, 관입이 정지 될 때의 Cone이 후진한 길이 (mm)를 재고, 그

때의 용수철의 수축에 해당하는 무게를 토양에 접한 원추의 단면적 ( $m^2$ )으로 나누어 경도 (MPa)를 계산할 수 있다. 한편, 작물의 생육환경과 관련한 산중식 경도 측정값의 표시는 원추후진길이 mm를 그대로 활용하는 경우가 많다 (농업과학기술원, 2000). 일본의 경우 채소류, 곡류, 과수 등에 따라 적정 산중식 경도 범위가 제안되어 있다. 18 mm가 넘어가면서 채소류의 뿌리생육이 제한되기 시작한다고 보고되어 있으며 25 mm에서는 과수의 뿌리뻗음도 제한되어 경운하거나 관개하여 토양을 부드럽게 해주어야 한다고 보고되어 있다 (일본토양학회, 1986; 조 등, 1976; NIAST, 2000). 반면 관입식 경도의 경우 Silver et al. (1994)이 2 MPa보다 높아지면 뿌리뻗음에 장애가 있다고 보고하고 있으나 이는 측정단위와 원추의 사양이 다른 산중식 경도계와 바로 대비하기는 어렵다. 따라서 본 연구에서는 토양의 산중식경도와 관입식 경도를 측정하고 그 관계를 알아보려고 하였다.

## 재료 및 방법

연구대상 지점은 사토에서 식양토로 다양한 토성을 포괄한 밭 16개 지점 (Table 1)으로 선정하였고, 물리성 측정은 NIAST (2000)의 방법을 따랐다.

측정에 사용한 관입식 경도계 (DIK-5521, Japan)의 사양은 측정범위 2.5 MPa 이하, Cone top angle 30°, Cone cross section area 2  $cm^2$ 였다. 두 경도계의 비교를 위한 측정 깊이는 토심 20 cm로 하였다. 측정은 5반복으로 하였고 평균과 표준편차를 구하여 표시하였다.

접수 : 2011. 5. 27 수리 : 2011. 6. 8

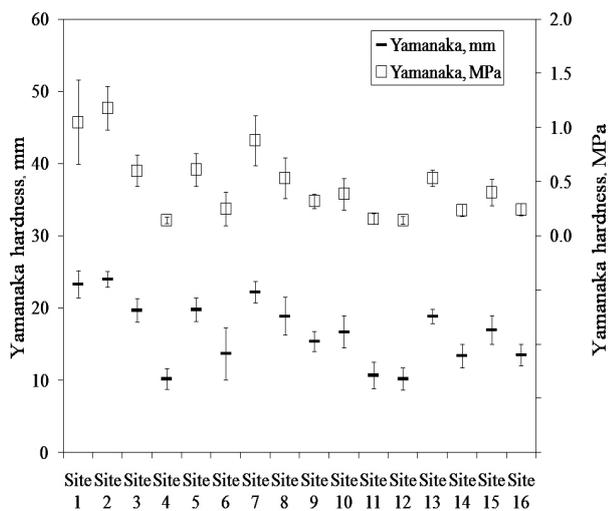
\*연락처 : Phone: +82312900337

E-mail: zhang@korea.kr

**Table 1. Soil physical properties at hardness-measured depth in investigated sites.**

Parameter <sup>†</sup>	BD	TPS	Vs	Vw	Va	Sand	Silt	Clay	Texture
	Mg m <sup>-3</sup>	v/v, %				w/w, %			
Site 1	1.74	34.2	65.8	25.9	8.3	40.5	34.8	24.7	Loam
Site 2	1.57	40.6	59.4	33.2	7.4	26.9	44.5	28.6	Clay loam
Site 3	1.56	41.2	58.8	33.6	7.6	31.0	48.1	20.9	Loam
Site 4	1.29	51.3	48.7	30.2	21.1	95.8	2.5	1.7	Sand
Site 5	1.45	45.3	54.7	33.7	11.6	16.8	57.0	26.2	Silt loam
Site 6	1.30	51.0	49.0	22.1	28.9	76.9	16.9	6.2	Sandy loam
Site 7	1.51	43.0	57.0	31.4	11.6	49.7	30.9	19.4	Loam
Site 8	1.27	52.0	48.0	39.7	12.3	27.1	39.6	33.3	Clay loam
Site 9	1.49	43.7	56.3	36.9	6.8	53.2	33.0	13.8	Sandy loam
Site 10	1.39	47.6	52.4	43.2	4.4	8.4	62.9	28.7	Silt loam
Site 11	1.55	41.6	58.4	27.5	14.1	68.8	20.2	11.0	Sandy loam
Site 12	1.52	42.8	57.2	8.5	34.3	98.8	0.2	1.0	Sand
Site 13	1.16	56.1	43.9	41.3	14.8	52.0	38.2	9.8	Loam
Site 14	1.32	50.3	49.7	18.3	32.0	80.0	13.6	6.4	Loamy sand
Site 15	1.47	44.4	55.6	39.0	5.4	32.8	51.3	15.9	Silty clay loam
Site 16	1.51	43.2	56.8	31.1	12.1	63.0	20.1	16.9	Sandy loam

<sup>†</sup>BD, Bulk density; TPS, Total pore space; Vs, Volume percent of solid; Vw, Volume percent of water; Va, Volume percent of air.

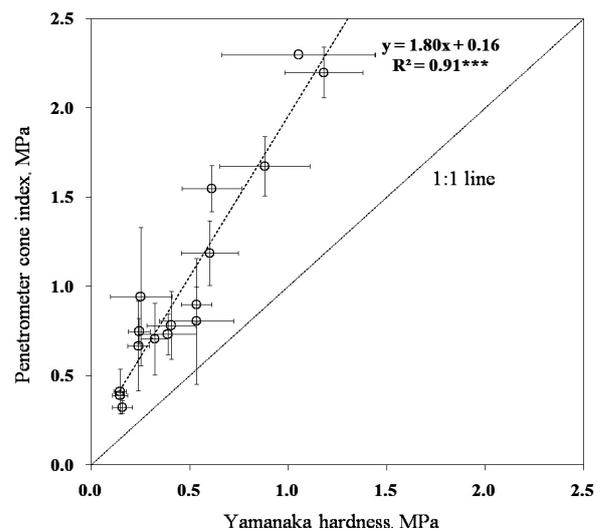


**Fig. 1. Yamanaka hardness in investigated sites. Values are the means of five replicates. Vertical bars indicate the standard deviations of the means.**

관입식 경도계와 측정치 비교를 위해 산중식 경도의 원추 후진길이 측정치 ( $\omega$ , mm)의 압력값 ( $R$ , MPa)로 변환은 다음 식으로 계산하였다 (NIAS, 2000).

$$R(\text{MPa}) = \frac{10\omega}{0.795 \times (40 - \omega)^2} \quad (1)$$

두 경도계 측정값사이 상관 및 회귀분석은 Microsoft Office Excel 2007 Program을 이용하였다.



**Fig. 2. Relationship between penetrometer cone index (DIK-5521) and Yamanaka hardness in investigated sites. Values are the means of five replicates. Vertical and horizontal bars indicate the standard deviations of the means for each axis.**

### 결과 및 고찰

연구대상지점에서 측정된 토양경도의 범위는 산중식경도 8.0–24.5 mm, 관입식 경도 Cone index 0.3–2.5 MPa로 나타났다 (Fig. 1 & 2). 산중식 경도의 현장측정값은 원추후진길이 mm 값으로 이를 압력값 MPa로 변환하였을 때, 경도가 18 mm 이상으로 높은 Site 1, 2, 7에서는 평균값대비 표준편차, 즉 변이계수가 경도가 낮은 지점에 비해 약 2–3

배 증가하는 것으로 나타났다 (Fig. 1). 이는 산중식경도 mm 단위에서 MPa 단위로의 변환그래프가 지수적으로 증가하는 형태를 그려 경도가 낮을 때보다 높을 때 기울기가 크기 때문에 판단된다.

산중식 경도와 관입식 경도 Cone index의 관계는 그림 2에 도시되어 있다. 반복간의 편차가 지점에 따라 다르게 나타났으며 평균값을 비교하여 본 결과, 두 자료간의 상관관계는  $r=0.95^{**}$ 로 유의하였다. 회귀분석을 통해 산중식경도와 관입식경도의 관계식을 구하였으며 이 회귀식의 적용범위는 연구대상지점의 측정범위인 산중식경도 0.1 MPa 이상 1.3 MPa 이하, mm 단위로 8 mm 이상 24.5 mm 이하라 할 수 있다. 이 회귀식으로부터 산중식경도 18 mm는 Cone index 1 MPa에, 23 mm는 Cone index 2 MPa에 해당하는 것으로 추정되었다. 산중식경도 23 mm는 발작물 뿌리의 생육이 불량한 정도로 보고되어 있어 Silver et al. (1994)의 기준과 유사하다 생각할 수 있었다. 과수 뿌리뻗음 제한 경도인 산중식 경도 25 mm는 회귀식의 적용범위를 벗어나 있어 본 회귀식을 적용할 수 없었다.

요컨대 본 연구를 통해 토양경도가 토양의 변이성 및 수분, 토성 등에 민감한 측정값임에도 불구하고 측정방식 간의 상호호환성이 있다고 판단할 수 있었다. 하지만 작물 근권 물리성관리를 위한 현장진단에 적용하기 위해서는 다양한 토양에 대한 재검토와 더불어 작물 뿌리생육 측정을 통한 검증이 이루어져야 할 것으로 본다.

## 요 약

산중식 경도 (YA, MPa)와 관입식 경도 Cone index (PE, MPa)의 측정치를 토양특성이 다른 16개 지점에서 비교해 본 결과, 다음과 같은 회귀식을 구할 수 있었다.

$$PE = YA * 1.80 + 0.16 \quad (R^2 = 0.91^{***}, N = 16)$$

이 회귀식의 적용범위는 산중식경도 0.1 MPa 이상 1.3 MPa 이하, mm 단위로 8.0 mm 이상 24.5 mm 이하였다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호: PJ00605012011) 및 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업 (과제번호: PJ007434201004)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## 인 용 문 헌

- 일본토양협회. 1986. 농업환경생산정보시스템 농작물 생육환경 총지표 제1집 토양환경.
- 조인상, 조영길, 임정남. 1976. 토양경도에 관한 연구. 농시연보. pp. 87-124.
- de Jong, S.M., E.A. Addink, L.P.H van Beek, and D. Duijsings. 2011. Physical characterization, spectral response and remotely sensed mapping of Mediterranean soil surface crusts. *Catena* 86:24-35.
- Lowery, B. and J.E. Morrison, JR. 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.
- NIAST. 2000. Analytical methods of soil and plant. National Institute of Agricultural Science and Technology, Rural Development Administration. Suwon, Korea.
- Raper, R.L. 2005. Agricultural traffic impacts on soil. *Journal of Terramechanics* 42:259-280.
- Silver, A.P., B.D. Kay, and E. Perfect. 1994. Characterization of the least limiting water range of soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:1775-1781.