

비중계법에 의한 토성분석시 정도 실험

김이열* · 한경화 · 조현준 · 오동식

농촌진흥청 농업과학기술원

A Precision Test of Hydrometer Method for Determining Soil Texture

Lee-Yul Kim*, Kyung-Hwa Han, Hyun-Jun Cho and Dong-Shig Oh

National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, 441-707

A precision test of hydrometer method, used to determine soil texture, was conducted on selected 10 soil samples, compared to pipette method. Soil texture measurements with hydrometer method were performed with monitoring the temperature of soil suspension in settling cylinder. The temperature and its fluctuation during settling time had a range of 13°C-28°C and 0.2°C-4.4°C, respectively. The difference of clay content between hydrometer and pipette method were distributed from -6.4% to 4.0%. Positive end of difference in clay content was observed at soil having very low clay content, whereas negative end at soil having high organic matter content and exchangeable cations. Except both ends, difference in clay content of soils was less than 3%, and especially closed to 0% in soils having clay content more than 25%. The difference of sand content were distributed from -1.5% to 4.2%. Similar to clay content, positive end soil was soil sample having lowest sand content.

Key words : Soil texture, Hydrometer method, Pipette method

서 언

토성은 모래, 미사, 점토의 함량비로 토양의 수분보유 및 이동특성과 수축팽창특성을 비롯하여 용질의 흡탈착 특성 및 유기물-점토 복합체 형성 등을 특징짓는 기초 물리적 특성이다. 특히 측정에 장비와 시간이 많이 드는 수분보유곡선과 수리전도도 등을 간접적으로 추정하는 변수로써 모래, 미사, 점토의 함량이 많이 이용되고 있다(McCuen et al., 1981; Campbell, 1985; Arya and Paris, 1981; Mishra et al., 1989). 따라서 토성 측정의 정도는 그와 연관되어 추정되는 토양특성의 정도까지 포함하므로 그 중요성이 매우 크다 하겠다.

토성 측정에 있어 피펫법과 비중계법은 모래입자는 체별하여 정량하고 미사와 점토입자는 Stokes' 법칙에 근거한 침강법으로 정량하는 방법이다(Gee and Bauder, 1986). 피펫법은 유기물의 제거 등의 전처리과정을 거치고 침강법에서 토양입자의 실중량을 측정하므로 오차가 % (w/w)로 보고되며 토성측정의 표준 방법이라 할 수 있다. 비중계법은 피펫법에서 유기물

분해 등의 일부 전처리과정을 생략하고 물리화학적 분산 후 침강시 토양입자의 함량은 비중계로 측정하므로 피펫법보다 측정시간이 짧고 조작성이 간편하며 많은 시료를 한번에 분석할 수 있다. 다른 토성측정법으로 레이저회절분석법(Scott-Jacsin and Walkington, 2005) 등 새로운 기술을 이용한 방법과 간이법으로 Micro pipette법(Chung et al., 1999)이 소개되었다. 그러나 현재까지 주로 쓰이고 있는 방법은 피펫법과 비중계법이다. 정밀한 분석을 요하는 시료가 아닌 경우에는 피펫법에 비해 간편한 비중계법이 널리 쓰이고 있다.

그러나 아직 우리나라 토양을 비중계로 분석했을 시 그 정도가 어떠한지에 대해서는 연구가 부족한 실정이다. 실제 어떠한 측정이라도 현상 자체의 불확실성, 과정에 있어 불확실성, 기기의 불확실성, 분석자의 불확실성 등이 존재하므로 아무리 주의깊게 측정절차를 거치더라도 측정하고자 하는 측정량의 참값을 구할 수 없다(NIAST, 2003). 따라서 측정값과 그 불확도를 함께 제시하는 것이 필요하다. 비중계법으로 토성분석시 오차발생의 요인을 생각해 보면 먼저 유기물 분해 과정의 생략으로 인해 점토 및 모래함량에 차이가 발생할 수 있다. 이는 토양특성에 따라 달라질 것이다. 또한 점토함량을 측정하는 침강법에서 정치시간동안의 온도변이에 의한 오차를 생각할 수 있다. 실험자에

접수 : 2006. 3. 21 수리 : 2006. 10. 1

*연락처 : Phone: +82312900269,

E-mail: lykim@rda.go.kr

의한 오차는 비중계 눈금읽기에서 클 수 있다.

따라서 본 연구에서는 농경지 10개 토양에 대해 토양특성에 따른 피펫법과 비교한 비중계법의 토성차이, 온도변이, 실험자 등을 중심으로 비중계법으로 토성측정시 정도를 파악하였다.

재료 및 방법

농경지 토양 10개(Table 1)에 대해 농업과학기술원(2000)의 토성분석 방법에 준하여 비중계법을 피펫법과 비교(식1과 2)하여 정밀도를 분석하였다. 침강실린더 수온과 실험실 기온은 온도기록계 TR-71S(T&D, Japan)를 이용하여 10분 간격으로 자동 모니터링 하였다.

공시된 토양은 농경지 표토를 채취하여 풍건한 후 지름 2 mm체로 체별한 것이다.

비중계법으로 토성을 측정하는 절차의 주요과정은 다음과 같이 하였다.

풍건시료를 105°C에서 18시간 건조시킨 후 50g을 채취하여 250 ml Beaker에 담은 후 분산제 5% Sodium Hexamataphate 100 ml를 가해 토양이 완전히 젖을 때까지 흔들어 주고 약 18시간 이상 침지시킨 다음 시료를 분산컵에 옮긴 후 Hamilton Beach로 5분간 진탕시켰다. 분산된 시료를 1L 침강실린더로 옮긴 후 물을 가하여 전용적이 1 l 가 되도록 하였다. Hand Stirrer를 가지고 현탁액을 상하로(20회 정도/1분) 흔들어 균일상이 되도록 1분간 교반시켜 장치한 후 2, 5, 15, 30, 60, 240, 600분, 1440분에 비중계를 넣고 눈금값(R)을 읽었다. 분석에 사용한 비중계는 ELE에서 제작한 Hydrometer 152H(유효길이 $h' = 16.7 - 0.165R$) 이었다. 마지막 비중계 측정이 끝난 후 현탁액을 U.S. No. 270 Sieve로서 습식체별하여 물로서 깨끗이 세척한 후 증발접시에 옮겨 105°C에서 건조하였다. 이것을 평량하여 모래함량(%) 평량한 모래/시료무게 $\times 100$ 로 구하였다. 주어진 비중계 눈금값으로부터 계산된 함

유비와 일치하는 토양입자의 직경계산은 이에 해당하는 직경을 가진 입자가 장치시에는 현탁액의 표면에 있었고 비중계 측정시에는 Bulb의 중앙점에 존재하였다는 판정하에 Stokes' 법칙에 의하여 계산할 수 있다. Stokes' 법칙은 직경에 대하여 다음과 같이 나타내어진다.

$$D = \sqrt{30\eta/980(dp-do) \times L/T} \dots\dots\dots (1)$$

D = 입자의 직경(mm)

η = 분산매의 점성계수(Poise)

L = 현탁액의 표면으로부터 비중이 측정되는 층까지의 길이(유효길이 h')

T = 침전시작부터 측정시까지 소요시간(분)

dp = 토양입자의 비중

do = 분산매의 비중

상기 공식에서 각 측정시간과 비중계 눈금값에 따른 유효길이를 적용 대입하여 각 입자의 직경을 계산하였다.

그때의 입자함유비는 (비중계눈금-바탕시험눈금)/시료무게 $\times 100$ 으로 계산하였다. 계산한 직경을 X축에 함유비를 Y축에 놓고 Semi-log fitting 곡선에서 점토 <0.002mm부분의 함량을 찾았다.

미사함량(%)은 100-(모래함량+점토함량)으로 계산하였다.

토성의 판정은 미국 농무성법의 분류기준을 따랐다(Gee and Bauder, 1986).

비중계법에서 토성분석의 정도는 모래와 점토의 측정의 정도라 할 수 있으므로 각각을 피펫법과의 차이를 식(2)와 같이 계산하였다. 이후의 표준오차분석은 이 차이값을 이용하여 분석하였다.

$$\text{Difference}(\%) = (H_{\text{Clay or Sand Content}} - P_{\text{Clay or Sand Content}}) \dots\dots\dots (2)$$

Table 1. Particle size distribution and physico-chemical properties of soil samples used.

Sample	Pipette method			Texture	pH (1:5)	OM	Ex. Cations		
	Sand	Silt	Clay				Ca	Mg	K
							g kg ⁻¹		
							----- cmol kg ⁻¹ -----		
							----- % -----		
S1	19.1	54.0	26.9	SiL	6.0	17.9	4.8	1.6	0.34
S2	58.5	29.1	12.4	SL	6.0	14.1	2.9	0.9	0.32
S3	64.3	29.5	6.2	SL	4.9	4.6	2.6	2.3	0.72
S4	11.3	68.4	20.3	SiL	5.7	29.8	4.7	1.8	0.30
S5	53.2	31.0	15.8	SL	7.7	32.5	12.5	2.4	1.37
S6	8.0	50.4	41.6	SiC	6.6	5.8	5.7	3.0	0.22
S7	41.6	37.5	20.9	L	6.9	23.4	7.6	1.6	0.59
S8	44.2	40.9	14.9	L	6.5	34.5	7.0	1.6	0.94
S9	33.3	48.1	18.6	L	5.7	22.0	5.1	1.1	0.37
S10	32.8	55.2	12.0	SiL	5.7	22.8	5.6	1.9	0.49

여기서, $H_{Clay \text{ or } Sand \text{ Content}}$ 와 $P_{Clay \text{ or } Sand \text{ Content}}$ 는 각각 비중계법과 피펫법으로 측정된 점토함량과 모래함량이다.

직경과 입자함유비의 로그함수 fitting과 상관분석은 Excel 프로그램(Microsoft, 2000)을 이용하였다.

결과 및 고찰

비중계법은 Hand stirring 후 30초에서 24시간 사이 주기적으로 측정된 결과 Fig. 1과 같이 Semi-log curve형 입자분포를 나타내었다(Gee and Bauder, 1986). 이 곡선을 로그 함수로 fitting한 결과 결정계수(R^2)는 0.98이상으로 높았다. 침강실린더 내 토양현

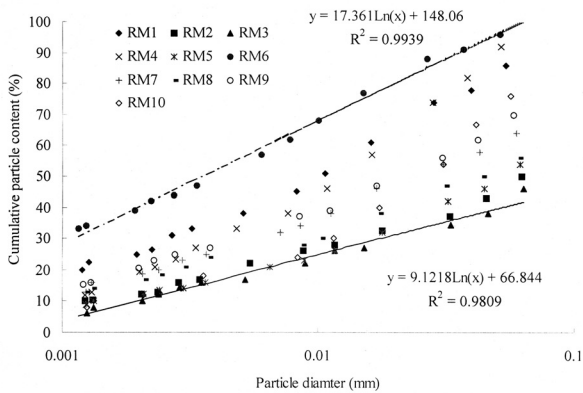


Fig. 1. Particle size distribution measured with hydrometer method.

탁액의 온도는 실험실 온도에 따라 유동하는 형태를 보여 기온 일교차가 큰 시기에 현탁액의 온도 변이폭 또한 컸다(Fig. 2). 4월에서 10월 사이 토양현탁액은 13°C에서 28°C까지 범위로 온도가 분포하였으며 일교차는 0.2°C에서 4.4°C 범위였다.

비중계법으로 측정된 점토함량은 피펫법과 -6.4%에서 4.0%까지 차이가 발생하였다(Fig. 3). 음과 양의 양 극단은 각각 S5와 S3이었다. S3은 점토함량이 6.2%로 가장 낮은 토양이며 반면 S5는 유기물함량, pH, 교환성양이온함량이 상대적으로 높은 토양이었다. 이 두 토양을 제외한 나머지 토양에서 점토함량의 차이는 3%이하였으며 특히 점토함량이 26.9%, 41.6%로 높은 S1과 S6은 차이가 0에 가까웠다. 점토함량에서 비중계법과 피펫법의 비교에 관한 기존의 연구도 본 연구와 유사하게 2%에서 5%내로 일치정도가 좋은 것으로 보고하고 있다(Liu et al., 1966; Kaddaj, 1974; Walter et al., 1978). 점토함량이 낮은 토양에서 비중계법이 감도가 낮게 나타났다는 보고(Gee and Bauder, 1986)가 있으며 이런 토양에서는 직접 중량을 측정하는 피펫법이 정확도가 높을 것으로 판단할 수 있었다. 또한 유기물과 칼슘은 토양입자의 결합제로 작용하므로 이들의 함량이 높을수록 비중계법에서 분산이 적게 될 확률이 높아질 것이다. 유기물 보정이 없이 토양 총무게를 기준으로 구한 비중계법의 점토함량은 무기입자를 기준으로 한 피펫법보다 작을 수 있으며 유기물함량이 높음에 따라 그 경향은 더 뚜렷

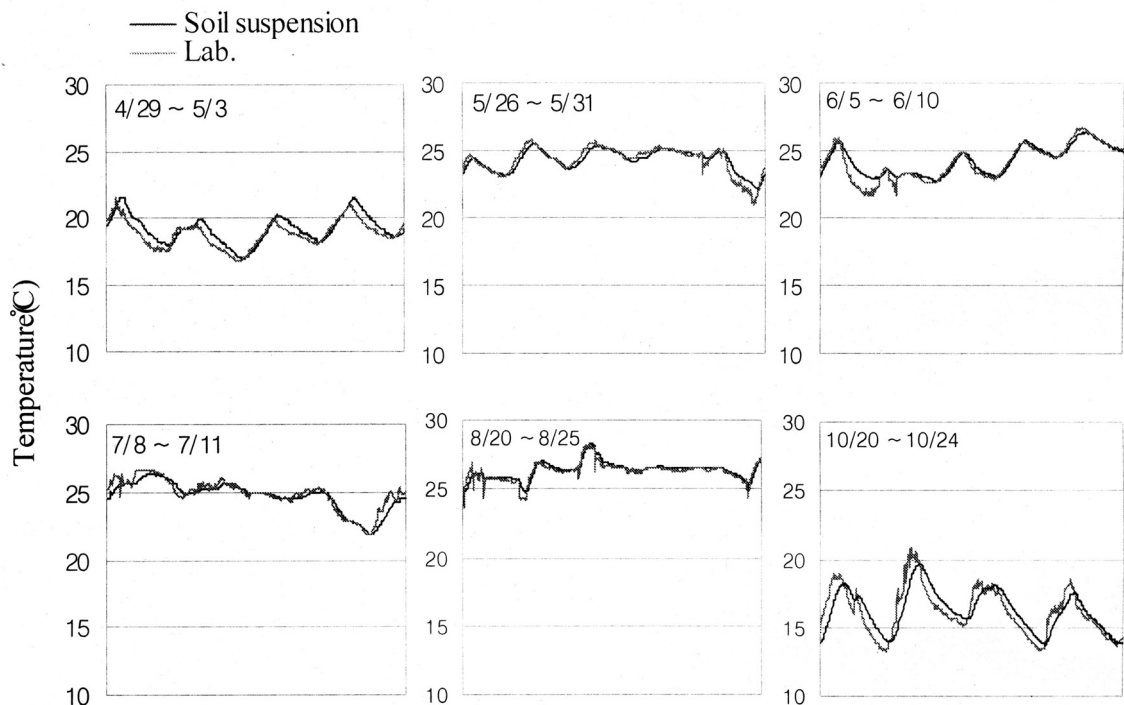


Fig. 2. Seasonal variation of the temperature of soil suspension in 1 l settling cylinder at laboratory room from April to October, 2003.

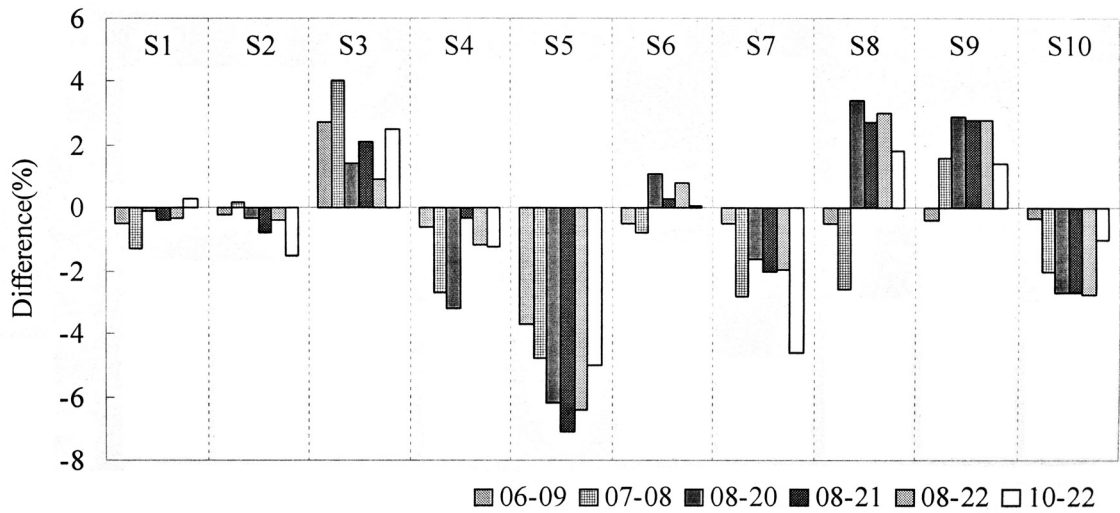


Fig. 3. Difference of clay content between hydrometer and pipette method as affected by measuring dates.

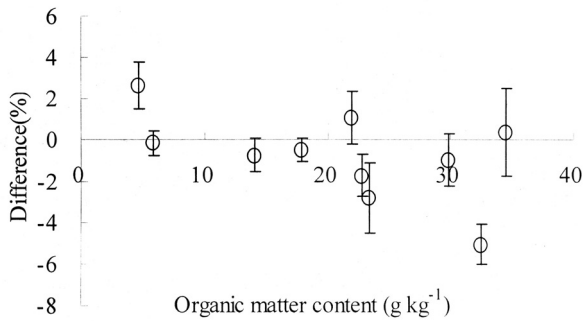


Fig. 4. The difference of clay content between hydrometer and pipette method as affected by organic matter content. Vertical bars mean standard deviation.

해질 것이다. 이는 그림 4에서도 나타나는데, 유기물의 함량이 높은 토양에서 대체로 점토함량에서 음의 차이를 가졌으며 유기물함량이 커질수록 차이가 작아지는 양상을 보였으나 유의성을 나타내지는 않았다

($r = -0.54^{ns}$).

점토함량에서 비중계법과 피펫법의 차이의 시기별 변이는 토양에 따라 다르게 나타났다(Fig. 3). 유기물 함량이 가장 높은 S8의 변이차가 가장 크게 나타났다. 현탁액의 온도 변이는 10월 22일에서 4.4°C로 가장 크고 다른 측정일에서는 2°C 부근이었는데 이것이 비중계법과 피펫법의 차이에 미치는 일정 경향은 찾을 수 없었다. 같은 토양현탁액을 온도변이가 작은 수조내에서 그리고 수조밖에서 측정한 결과 온도 변이폭이 2.6°C로 차이가 있었다. 그림 5는 이의 영향을 살핀 것으로 7개 토양에서 점토함량이 온도 변이폭의 증가에 따라 높게 평가되었다. 온도변이폭이 클수록 현탁액의 밀도 및 점성 변이폭 또한 커지는 것이 그 원인 중 하나일 수 있다고 추측할 수 있었다.

모래함량에서 비중계법은 피펫법과 -1.5%에서 2.0% 까지 차이가 발생하였다. 양의 극단은 점토함량에서와 유사하게 가장 낮은 모래함량을 갖는 토양에서 나

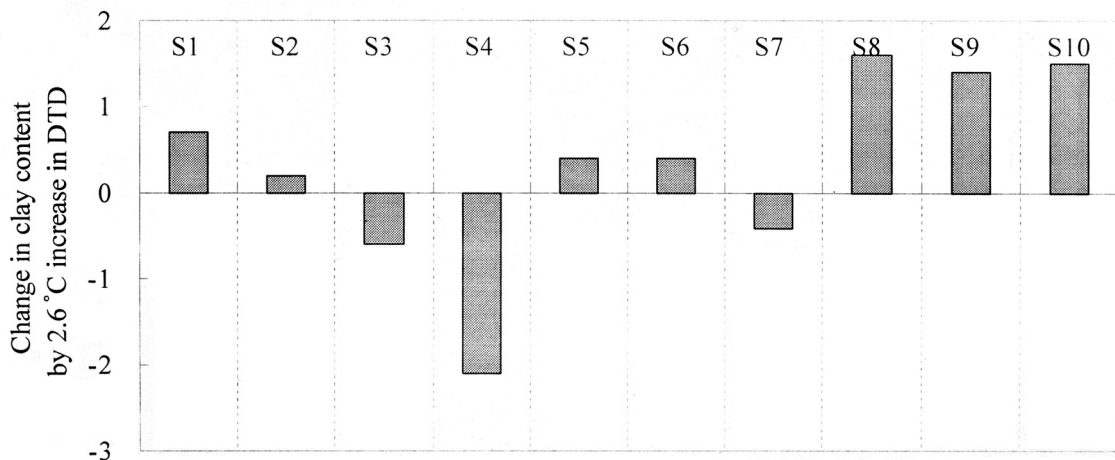


Fig. 5. Change in clay content with hydrometer method by 2.6°C increase in daily temperature difference(DTD) of soil suspension.

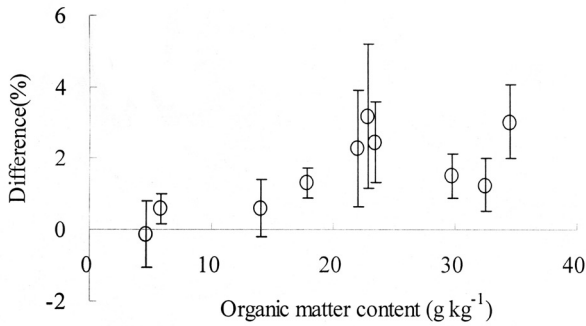


Fig. 6. The difference of sand content between hydrometer and pipette method as affected by organic matter content. Vertical bars mean standard deviation.

타났다(Fig. 6). 유기물함량과는 관계는 점토함량에서와 반대로 유기물함량이 높아질수록 차이가 커지는 현상이 나타났으며 $r = +0.70^*$ 으로 유의한 양의 상관을 나타냈다. 이는 입단결합체인 유기물 분해과정을 생략함으로써 발생하는 현상으로 추정된다.

실험자에 따른 점토함량의 차이를 표 2에 나타내었다. 이는 분산까지의 전처리를 동일하게 한 결과로 최대 5%차이를 보였다. 특히 비중계 눈금읽기에서 그 실험자에 따른 차이가 큰 것으로 Gee and Bauder (1979)가 보고하였다. 따라서 비중계 눈금읽기에 많은 주의가 요구된다 하겠다.

Table 2. Difference in clay content as affected by different operators with hydrometer methods.

Index	Operator A	Operator B
	----- Clay(%) -----	
S1	25.8(-1.1) [†]	25.8(-1.1) [†]
S2	7.9(-4.5)	7.9(-4.5)
S3	5.3(-0.9)	5.3(-0.9)
S4	19.1(-1.2)	19.1(-1.2)
S5	16.6(+0.8)	16.6(+0.8)
S6	38.3(-3.3)	38.3(-3.3)
S7	16.1(-4.8)	16.1(-4.8)
S8	16.0(+1.1)	16.0(+1.1)
S9	19.1(+0.5)	19.1(+0.5)
S10	8.5(-3.5)	8.5(-3.5)

[†] Parenthesis indicate difference of clay content with hydrometer method and pipette method according to equation (2)

요컨대 본 연구결과 비중계법은 점토함량이 매우 낮거나 유기물과 염의 함량이 높은 토양을 제외하고 피펫법과의 차이가 3%이하였으며 계절별 측정변이는 유기물함량이 높은 토양에서 높게 나타났다. 이로 보아 점토함량이 매우 낮거나 유기물함량이 높은 토양 그리고 정도 높은 분석이 요구될 시는 피펫법의 적용이 필요하고, 그 외의 경우에는 비중계법의 사용도 별

다른 문제는 없다고 판단할 수 있었다.

적 요

토성 측정법인 비중계법의 정도시험을 10개 표준토양을 선정하여 침강실린더내 토양현탁액의 온도를 모니터링하면서 피펫법과 비교하여 수행하였다. 토양현탁액은 13°C에서 28°C까지 범위로 온도가 분포하였으며 현탁액의 온도변이는 0.2°C에서 4.4°C 범위였다. 비중계법에 의한 점토함량은 피펫법과 -6.4%에서 4.0%까지 차이가 발생하였다. 이 때의 양과 음의 양극단의 높은 차이는 각각 점토함량이 매우 낮은 토양과 유기물함량, 교환성칼슘, pH가 상대적으로 높은 토양이었다. 이 두 토양을 제외한 나머지 토양에서는 차이가 3%이하였으며 점토함량이 25%이상인 토양에서는 거의 0에 가까웠다. 모래함량에서 -1.5%에서 2.0%까지 차이가 발생하였다. 차이가 가장 큰 토양은 점토함량에서와 유사하게 모래함량이 가장 낮은 토양에서 나타났다.

인 용 문 헌

Arya, L.M., and Paris, J.F. 1981. A physico-chemical model to predict the soil moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density data. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 63:510-519.

Campbell, G.S. 1985. *Soil Physics with BASIC, Transport Models for Soil-Plant Systems.* Elsevier.

Chung, J.B., M.K. Kim, B.J. Kim, and K.H. Kim. 1999. Comparison of micro-pipette method and hydrometer method in soil particle size analysis. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 32:274-278.

Gee, G.W., and J.W. Bauder. 1979. Particle size analysis by hydrometer: A simplified method for routine textural analysis and a sensitivity test of measurement parameters. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43:1004-1007.

Gee, G.W., and J.W. Bauder. 1986. Particle-size analysis. In A. Klute(ed) *Method of soil analysis: Part 1. Physical and mineralogical methods second edition.* Agron Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI

Kaddah, M.T. 1974. The hydrometer method for detailed particle size analysis. 1. Graphical interpretation of hydrometer reading and test of method. *Soil Sci.* 118:102-108.

Liu T.K., R.T. Odell, W.C. Etter, and T.H. Thornburn. 1966. Comparison of clay contents determined by hydrometer and pipette methods using reduced major axis analysis. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30:665-669.

McCuen, R.H., W.J. Rawls and D.L. Brankensiek. 1981. Statistical analysis of Brooks Corey and Green-Ampt parameters across soil textures. *Water Resour. Res.* 17:1005-1013.

Mishra, S., J.C. Parker, and N. Singhal. 1989. Estimation of soil

- hydraulic properties and their uncertainty from particle size distribution data. *J. Hydrol.* 108:1-18.
- NIAST. 2000. Method of soil and plant analysis.
- NIAST. 2003. 토양 및 농업환경분야 분석 정도관리 workshop
- Scott-Jacsin, J.E., and H. Walkington. 2005. Methodological issues raised by laser particle size analysis of depositions mapped as Clay-with-flints from the Palaeolithic site of Dickett's Field, Yarnhams Farm, Hampshire, UK. *Journal of Archaeological Science* 32:969-980.
- Walter, N.F., G.R. Halberg, and T.S. Fenton. 1978. Particle-size analysis by the Iowa State University Soil Survey Laboratory. p.61-74. In G.R. Halberg(ed.) Standard procedures for evaluation of quaternary materials in Iowa. TIS 8. Iowa Geological Survey. Iowa City, IA.