

## 분광광도계를 이용한 점토함량 분석

박순남 · 김계훈\* · 감지영<sup>1</sup>

서울시립대학교 자연과학대학 환경원예학과, <sup>1</sup>서울대학교 농업생명과학대학 농업과학공동기기센터

## Use of Spectrophotometry for Quantitative Determination of Soil Clay Content

Soon-Nam Park, Kye-Hoon Kim\* and Ji-Young Kang<sup>1</sup>

Department of Environmental Horticulture, The University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

<sup>1</sup>National Instrumentation Center for Environmental Management, Seoul 151-921, Korea

Received April 22, 2005; Accepted June 8, 2005

This study was conducted to develop a method for the quantitative determination of soil clay content by spectrophotometry. The optimum wavelength obtained with reference clay minerals for spectrophotometry was 500 nm. For the proposed spectrophotometry, 0.5 g of soil sample was put in the 250 ml Erlenmeyer flask and 100 ml dispersing agent was added. After shaking the flask at 130 rpm with a mechanical shaker overnight, the flask was removed from the shaker and was shaken up-and-down for 30 seconds. With a micro-pipet, 4 ml of the suspension was transferred into the previously-inserted cell and the absorbance was measured instantly. Results by the spectrophotometry for clay content analysis were compared with those by the conventional sedimentation technique (the pipet method). The proposed equation was  $y = 38.03x_1 - 0.17x_2 - 1.17$ , where  $y$ ,  $x_1$ , and  $x_2$  were clay content (%) by the pipet method, water content corrected clay content (%) by spectrophotometry, and organic matter content ( $g \cdot kg^{-1}$ ), respectively. The regression coefficient for the equation was  $r = 0.984^{**}$ , indicating highly significant correlation between the results of the two methods.

**Key words:** spectrophotometry, pipet method, clay content, particle size analysis

### 서 론

토양의 무기입자는 입자의 크기에 따라 모래, 미사 및 점토로 구분되며, 이들의 함량비 즉 입경조성에 따라 결정되는 토양의 종류를 토성(soil texture)이라 한다. 이 중 점토(직경 <0.002 mm)는 전하와 이온 교환능을 가지고 있어 비료성분의 흡탈착, 산도, 통기성 및 투수성을 결정하는데 큰 영향을 주므로 작물생육과 밀접한 관계가 있다. 또한, 점토 또는 점토광물은 농업분야에서 토양개량제, 비료나 농약의 보조제, 가축사료 등에 이용되고 있고 독특한 결정구조와 화학조성 때문에 산업광물로서도 매우 중요한 위치를 차지하고 있다.

이와 같이 농업 및 산업분야 등에서 매우 중요한 점토함량 분석방법에 대하여 지금까지 많은 연구자들이 연구를 수행해 왔으며,<sup>1-9)</sup> 전통적인 피펫법의 단점을 보완하여 laser-light, x-ray, γ-ray, 비탁도(turbidimetry) 등을 원리로 한 기기를 이용하여 단

시간에 많은 시료의 입경을 분석하는 기법도 연구되었다.<sup>10-17)</sup>

피펫법과 비중계법은 침강원리를 이용하는 방법으로 Stokes의 법칙에 근거하여 토양내 존재하는 직경 <0.002 mm의 점토 함량을 측정한다. 침강법에 의한 점토함량 측정은 미사와 점토의 침강 과정에서 입자 상호간 또는 입자와 용기벽 간의 작용이 침강 속도에 미치는 영향을 줄이기 위해 대용량의 용기(1 l cylinder 등)를 사용하기 때문에 넓은 공간이 필요하며, 측정하고자 하는 입자 크기의 침강시간을 고려해야 하기 때문에 많은 시간이 소요된다.<sup>3,6)</sup>

우리나라의 경우 토양 중 점토함량 분석은 피펫법과 비중계법을 통해서 주로 이루어지고 있으나,<sup>18)</sup> 농업과학기술원을 비롯한 일부 한정된 기관에서만 분석이 가능하고 분석에도 매우 긴 시간이 소요된다. 또한, 점토함량 분석기기는 고가이기 때문에 모든 대학이나 연구소 및 분석센터 등에서 보유하는 것이 어려운 실정이므로 현실적으로 많이 이용되고 있지 못하다.

본 연구에서 점토함량 분석방법에 적용하고자 하는 분광광도법은 분자 화학종의 정량 및 정성분석에 널리 이용되고 있다. 또한, 전세계적으로 화학 및 임상실험실에서 가장 널리 이용되는 정량분석방법이며 응용범위가 매우 넓다.<sup>19)</sup>

\*Corresponding author

Phone: +82-2-2210-2605; Fax: +82-2-2214-4030

E-mail: johnkim@uos.ac.kr

따라서, 본 연구는 비교적 저가이고, 현재 많은 연구기관에서 손쉽게 이용되고 있는 분광광도계를 이용하여 토양 중 점토함량을 신속하고 정확하게 측정하는 방법을 개발하기 위해 수행하였다.

## 재료 및 방법

**토양시료.** 토양은 토양통, 토양층 및 점토함량이 다양한 밭토양 25점을 시험에 이용하였다. 토양의 물리적, 화학적 특성은 Table 1에 나타내었으며, 유기물 함량, 양이온치환용량, 토성은 각각 Tyurin법, ammonium acetate 침출법<sup>18)</sup> 그리고 피펫법<sup>3)</sup>으로 분석하였다.

**분광광도계를 이용한 토양 중 점토함량 분석방법 개발 단계 설정.** 분광광도계를 이용한 점토함량 분석방법은 파장선택, 최적 분석방법 결정, 검정선 작성의 3단계 절차를 통하여 개발되었다. 분광광도계의 흡광도에 영향을 줄 수 있는 변수는 용매의 성질, 용액의 pH, 온도, 전해질의 농도 및 방해물질의 존재 등을 들 수 있다.<sup>19)</sup> 일반 토양의 점토함량 분석시에는 유기물이나 토색 등이 방해요인으로 작용할 수 있기 때문에, 파장선택, 분석방법 결정, 검정선 작성의 단계에서는 표준 점토광물 시료를 이용하여 이러한 영향을 최소화 하였다. 표준 점토 시료는 kaolin(A), kaolin(B), illite, montmorillonite, vermiculite를 이용하였다.

**파장선택.** 표준 점토광물 시료 kaolin 2종류, illite, montmorillonite, vermiculite 1종류씩을 각각 0.4%씩 혼합 조성하여 흡수 스펙트럼을 분석한 후 최적 파장을 선택하였다. 본 연구에는

**Table 2. Specification of the spectrophotometer (UV-160A, Shimadzu) used for this study**

Specification	UV-160A
Measuring wavelength range	200~1,100 nm
Resolution	2 nm
Wavelength accuracy	± 0.5 nm
Wavelength readability	0.1 nm increment
Wavelength reproducibility	± 0.1 nm
Photometric system	Double-beam system
Recording range	Absorbance: -2.5~2.5 abs Transmittance: -125~125% T
Stray light	Less than 0.1% at 220 nm and 340 nm
Detector	Silicon photo-diode, 2 pcs

Shimadzu사의 분광광도계(UV-160A, Shimadzu, Japan)를 사용하였으며, 기본 사양은 Table 2와 같다.

**최적 실험방법 조사.** 분광광도법을 이용한 점토함량 분석방법을 개발하기 위하여 재현성이 좋고 피펫법과 상관관계가 높은 결과를 유도할 수 있도록 다양한 조건에서 실험을 수행하였다.

분광광도계 cell에 들어가는 측정 시료량을 결정하는 실험은 250 ml 삼각 플라스크에 illite 0.05 g과 100 ml 증류수를 가하여 30초간 상하로 흔든 후 시료를 cell에 적당량 넣고 흡광도를 측정함과 cell의 최대 용량인 4 ml를 취하여 흡광도를 측정함을 비교하였다. 흡광도 측정은 각각 10회 반복하였으며 cell을 기기에 삽입하고 10초 후에 흡광도를 측정하였다.

Cell에 시료를 넣고 측정 시간을 결정하는 실험은 250 ml 삼각 플라스크에 illite 0.05 g과 100 ml 증류수를 가하여 30초간

**Table 1. Chemical and physical properties of the soils used**

Sample No.	Horizon	Soil series	pH	OM (g · kg <sup>-1</sup> )	Water content (%)	CEC (cmol · kg <sup>-1</sup> )	Soil texture
1	A	Yeongog	6.6	27.9	1.59	15.1	Silt loam
2	A	Daegog	6.8	16.2	4.40	10.9	Silt loam
3	A	Noigog	4.3	27.6	1.21	12.7	Sandy loam
4	A	Bugog	5.6	18.8	1.24	11.5	Sandy loam
5	A	Bugog	4.3	18.1	1.32	10.3	Loam
6	A	Nagdong	6.0	36.2	1.16	10.0	Sandy loam
7	A	Jungdong	5.8	33.6	1.10	9.8	Sandy loam
8	A	Nagdong	5.2	21.6	0.88	8.0	Sandy loam
9	A	Songjeong	7.7	26.9	1.76	13.9	Clay loam
10	A	Gopyeong	6.7	33.6	1.84	15.4	Silt loam
11	A	Baegsan	7.3	36.9	2.16	16.7	Silt clay loam
12	A	Asan	5.6	20.9	1.45	9.0	Clay loam
13	A	A-Haeri	7.4	15.5	0.82	6.8	Sandy loam
14	A	Gocheon	6.4	35.7	1.23	9.6	Sandy loam
15	B	Yeongog	5.9	14.8	2.34	12.7	Silt loam
16	B	Bansan	4.4	20.2	2.46	13.3	Silt clay loam
17	B	Jeonnam	4.8	9.5	2.49	12.5	Clay
18	B	Bansan	5.8	12.8	2.49	14.7	Silt clay loam
19	B	Noigog	5.0	10.7	1.18	10.1	Sandy loam
20	B	Nagdong	4.7	7.4	0.54	4.5	Loamy sand
21	B	Baesang	4.9	14.0	2.04	11.7	Clay loam
22	B	Yeom	7.0	3.4	1.01	6.7	Sandy clay loam
23	B	Asan	5.6	4.0	1.60	8.3	Clay loam
24	B	Daegog	6.2	10.0	2.97	13.8	Silt clay loam
25	B	Sangju	5.5	17.4	1.13	9.5	Sandy loam

상하로 흔든 후 미리 삽입한 cell에 시료를 4 ml 취하여 넣고, 흡광도를 즉시 측정 한 것과 10초 후에 측정한 값을 비교하였다. 흡광도 측정은 각각 10회 반복하였다.

시료의 분산용액은 증류수와 분산제((10 ml, 1 N NaOH + 10 ml, 5% HMP)/l)를 이용하여 실험하였다. 250 ml 삼각 플라스크에 illite 0.05 g과 100 ml 증류수 또는 분산제를 가하여 30 초간 상하로 흔든 후 미리 삽입한 cell에 시료를 4 ml 취하여 넣고 즉시 흡광도를 측정하는 일을 각각 10회 반복하였다.

최적의 분산용기를 결정하기 위한 실험은 50 ml 원심분리관과 250 ml 삼각 플라스크를 이용하였다. 50 ml 원심분리관은 end-over-end shaker를 이용하여 시료를 분산시켰으며 250 ml 삼각 플라스크는 실험실에서 일반적으로 사용하는 왕복 진탕기를 사용하였다. 시료는 모두 12시간 동안 진탕하여 분산시켰다. 50 ml 원심분리관에 illite 0.02 g과 분산제 50 ml를 넣은 용액과 250 ml 삼각 플라스크에 illite 0.04 g과 분산제 100 ml를 넣은 용액을 30초간 상하로 흔든 후 미리 삽입한 cell에 시료를 4 ml 취하여 넣고 즉시 흡광도를 측정하였다. 흡광도 측정은 각각 10회 반복하였다.

분석에 필요한 토양 시료량을 결정하기 위해서 점토함량이 다양한 일반 토양 풍건 시료 7점을 0.2 g과 0.5 g씩 이용하여 앞서 선택된 방법들을 통해 흡광도를 조사하여 상관관계를 비교하였다.

**검정선(calibration curve) 작성.** 검정선 작성시 이용한 표준 용액의 최고 농도는 분석에 이용한 기기의 최고 흡광범위인 2.5 보다 낮도록 조절하였다. 검정선은 토색의 영향을 최소화하기 위해 파장 선택시 이용하였던 표준 점토광물(kaolin(A), kaolin(B), illite, montmorillonite, vermiculite)을 이용하여 작성하였다. 점토 혼합 표준용액은 각각의 점토광물을 20%씩 혼합하여 최고 농도가 0.2% 되도록 조절하였다. 점토 혼합 표준용액은 2 배 희석을 반복하여 점토함량에 해당하는 흡광도의 각 점을 연결하여 검정선을 작성하였다.

**점토함량 분석.** 토양 중 점토함량은 피펫법과 분광광도법으로 동일시료를 각각 분석하였다. 분광광도법은 본 연구에서 조사된 최적의 분석 방법을 이용하였으며, 그 결과를 피펫법과 비교하여 환산식을 도출하였다.

**결과 및 고찰**

**파장선택.** 흡수 분광광도법으로 어떤 미지 시료의 농도를 밝

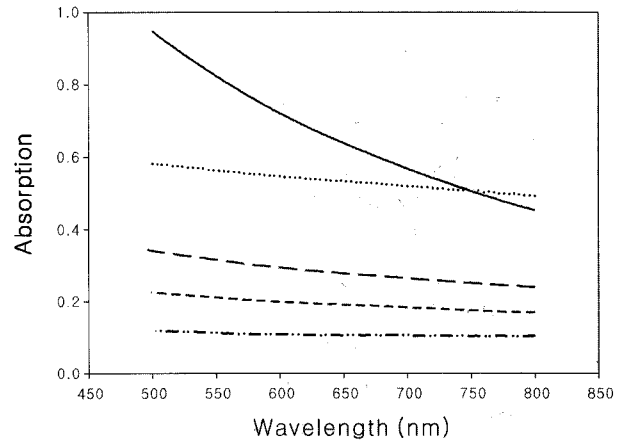


Fig. 1. Spectrum of the reference clay minerals. —: kaolin (A), .....: kaolin (B), ---: montmorillonite; - · - ·: illite, - - - -: vermiculite.

혀내는 방법을 개발할 때, 첫 단계는 흡광도(absorbance)를 측정하려는 파장을 선택하는 일이다. Figure 1은 점토 종류별 흡수 스펙트럼을 조사한 것으로 파장에 따른 흡광도는 점토광물의 종류에 따라 차이가 있었으나 파장이 감소할수록 흡광도가 증가하는 경향은 동일하였다.

분광광도계는 일반적으로 농도 단위당 흡광도 변화가 가장 큰 흡광 피크(peak)에 해당하는 파장에서 흡광도를 측정하여야 최대 감도를 얻을 수 있다. 이 경우 흡수 피크 부분에서 Beer의 법칙을 잘 따르기 때문에 최고 흡광도를 보이는 파장을 최적 파장으로 선택한다.<sup>19)</sup>

자외선 영역의 파장을 선택할 경우는 분광광도계의 가격이 비싸고 분석에 사용되는 cell도 고가인 석영이나 용융 실리카 cell을 이용해야 하는 문제점이 있다. 본 연구의 목적은 비교적 사용이 쉽고 저렴한 기기를 이용한 점토함량 측정방법을 개발하는 것이므로 가시광선 영역의 파장을 선택하는 것이 연구 목적에 부합된다고 할 수 있다. 따라서 최적 파장은 감도가 가장 높고 재현성이 좋은 500 nm로 선택하였다.

**최적 실험방법 조사.** 측정시료량을 결정하기 위한 실험에서 시료의 양을 임의로 약 3~4 ml를 cell에 넣고 흡광도를 측정할 경우와 4 ml를 정량으로 취하여 cell에 넣고 흡광도를 측정할 경우의 평균 흡광도와 표준편차를 비교한 결과, 4 ml 정량을 취했을 때 표준편차가 작아 재현성이 높은 것으로 조사되었다 (Table 3).

흡광도의 측정시간은 시료를 cell에 주입하고 흡광도를 즉시

Table 3. Results of the experiment for establishing optimum conditions in detection of clay contents by spectrophotometry

Condition	Abs±std.	
Pipetting amount	Random sampling	0.2181±0.0101
	Accurately, 4 ml	0.2024±0.0033
Measurement time	In 10 seconds	0.2024±0.0033
	Instantly	0.2229±0.0030
Dispersing agent	Distilled water	0.2229±0.0030
	(10 ml, 1 N NaOH + 10 ml, 5% HMP)/l	0.2878±0.0013
Experiment vessel	50 ml centrifuge tube	0.2292±0.0060
	250 ml Erlenmeyer flask	0.2178±0.0023

측정한 경우와 10초 후에 측정한 경우를 비교하였다. 두 방법 간 평균 흡광도와 표준편차의 차이는 크지 않았으나 시간적인 면을 고려했을 때 10초 후에 측정하는 것보다 즉시 측정하는 방법이 더 효율적인 것으로 판단되었다(Table 3).

또한, 적절한 분산액을 결정하기 위해 증류수와 분산제((10 ml, 1 N NaOH + 10 ml, 5% HMP)/l)를 각각 분산액으로 이용한 후 평균 흡광도와 표준편차를 조사하였다. 이 결과 증류수보다 분산제((10 ml, 1 N NaOH + 10 ml, 5% HMP)/l)를 분산액으로 이용한 경우 흡광도가 높고 표준편차는 낮아 측정감도를 높이고 재현성을 좋게 할 것으로 판단되었다(Table 3).

실험에 적절한 분산용기를 결정하기 위해 50 ml 원심분리관과 250 ml 삼각 플라스크를 이용하여 평균 흡광도와 표준편차를 비교하였다. 그 결과 50 ml 원심분리관을 이용할 때보다 250 ml 삼각플라스크를 이용할 때 재현성이 좋은 것으로 나타났다(Table 3).

피펫법과 비중계법으로 점토분리를 할 경우에는 약 10 g의 토양시료를 이용하여 유기물을 제거하고 105°C에서 건조한 후 정량하여 감량된 무게를 최종 시료량으로 이용한다.<sup>3)</sup> 마이크로 피펫법은 2 g과 4 g을 이용하여 토성분석을 시험한 결과 2 g 보다 4 g의 시료를 사용하였을 경우 더욱 정확한 분석결과를 얻을 수 있었기 때문에 4 g의 시료를 사용할 것을 제안하였다.<sup>8)</sup>

일반 토양 시료의 점토함량을 분광광도계로 측정할 경우 유기물 함량과 토색이 흡광도에 영향을 미칠 수 있으므로 소량의 시료를 취하고 회석배수를 높여 이러한 영향을 최소화 할 필요가 있다. 또한, 분광광도계의 최고 흡광도가 2.5이므로 흡광도가 이 범위 내에 들도록 하기 위해서는 소량의 시료를 취하고 회석배수를 높이는 과정은 반드시 필요하다.

분석에 필요한 토양 시료량을 결정하기 위해서 점토함량이 다양한 일반 토양 풍진시료 7점을 각각 0.2 g과 0.5 g 정량하여 분광광도법으로 흡광도를 조사하여 상관관계를 비교하였다(Fig. 2). 그 결과 기울기는 1에 가깝고 y축 절편이 0에 가까우며 상관관계수가 0.99 이상으로 매우 높게 나타나 0.2 g과 0.5 g 사이에는 고도의 유의성이 인정되었다. 그러나 시료를 소량 사용할 경우 시료량을 잴 때 편차가 커질 우려가 있으므로 0.2 g 보다 0.5 g의 시료량이 더 적합한 것으로 판단되었다.

이상의 실험과정을 종합해서 볼 때 일반 토양시료의 점토함량을 분석하는 절차는 다음과 같이 요약할 수 있다. 250 ml 삼각 플라스크에 풍진 토양 0.5 g과 분산제((10 ml, 1 N NaOH + 10 ml, 5% HMP)/l) 100 ml를 가하고 12시간 동안 진탕하여 시료를 충분히 분산시킨다. 진탕속도는 약 130 rpm으로 하였다. 분산이 끝난 시료는 흡광도가 1 이내에 들어오도록 적당히 회석해야 하는데 보통 점토함량이 50% 이내의 토양시료는 6배 회석이 적당하다. 6배 회석은 분산이 끝난 250 ml 삼각 플라스크를 교반하면서 5 ml 자동 피펫으로 5 ml를 취한 후 분산제 25 ml를 가하여 회석하였다. 이 때 회석용기는 시료 분산시 이용했던 용기와 동일하게 250 ml 삼각 플라스크를 이용하였다. 시료의 분석 준비는 회석이 끝나고 250 ml 삼각 플라스크의 입구를 파라필름 등으로 막으면 완료된다.

혼합 점토 표준용액은 검정선 작성시 이용하였던 동일한 표준 점토광물을 이용하여 토양시료 분산시 사용한 동일한 분산

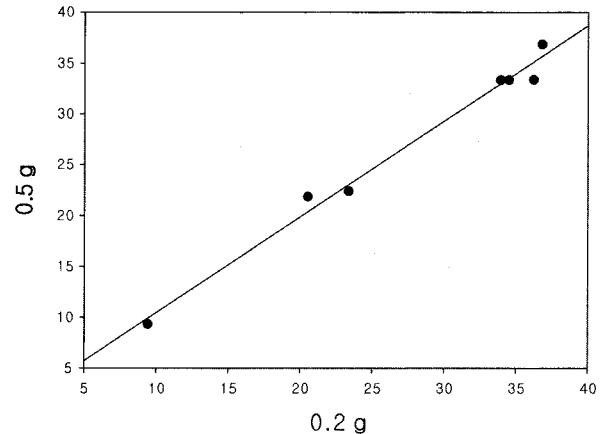


Fig. 2. Relationship between the clay contents (%) measured with 0.2 and 0.5 g soil samples. ●-:  $y=1.03x+0.84$ ,  $r=0.9934^{**}$ .

제로 회석을 반복하면서 조성하고, 검정선은 파장 500 nm에서 선형여부를 확인한다. 검정선 작성은 분석할 때마다 새로 작성해야 한다. 검정선 작성이 끝나면 바로 토양시료의 점토함량 분석이 가능하다. 먼저 cell을 기기에 삽입하고 회석된 시료가 들어 있는 250 ml 삼각 플라스크의 입구를 파라필름으로 덮고 상하로 30초간 흔든 후 파라필름을 벗기고 250 ml 삼각 플라스크의 수면에서 4 ml를 용량 피펫으로 취하여 기기에 삽입된 cell에 옮기고 즉시 흡광도를 측정하면 된다. 측정값은 다음 식에 따라 계산한다.

$$\% \text{ of clay in soil} = \% \text{ in solution} \times \text{회석배수} \times 100/0.5$$

**검정선(calibration curve) 작성.** 분석 실험 조건이 결정된 다음에는 표준용액을 만들어 검정곡선을 만들어야 한다. 표준용액은 실제 시료와 같은 성분이 포함되어야 하고, 측정하고자 하는 분석물질의 농도범위를 모두 포함하고 있어야 한다. 검정선에 의한 정량시 주의해야 할 점은 어떤 물질의 불흡광계수를 문헌값 그대로 사용하여 분석해서는 안되며 반드시 같은 실험 조건에서 몇 가지 표준용액으로부터 구해야 한다는 것이다.<sup>19)</sup>

Figure 3은 점토함량을 정량분석하기 위한 검정선을 작성한 것이다. 점토의 최고함량은 0.1%와 0.2%로 설정하였으며 500 nm에서 흡광도를 측정하였다. 점토함량의 최고농도를 0.1%로 설정하였을 경우는 상관관계수가 0.9996로 매우 높은 상관관계를 보였다. 점토함량의 최고농도를 0.2%로 설정하였을 경우는 상관관계수가 0.9968로 최고농도를 0.1%로 설정하였을 경우보다 결정계수가 다소 낮아지기는 하였으나, 점토함량이 높은 시료를 분석할 경우 회석배수를 최소화하기 위해서는 최고 농도를 0.2% 정도로 설정해도 무관할 것으로 판단된다.

**점토함량 분석.** 일반 토양 시료의 분광광도법을 이용한 점토함량 분석은 이상에서 최적의 방법으로 조사된 실험방법을 따랐으며, 동일시료를 피펫법으로 분석한 결과와 상관관계를 비교하였다. Table 4는 분광광도법과 피펫법으로 측정한 점토함량의 상관관계를 나타낸 것이다.

풍진 토양 0.5 g의 점토함량을 분광광도법을 이용하여 측정한 값과 피펫법으로 측정한 값으로 회귀분석을 실시해본 결과 [1]의 회귀방정식을 얻을 수 있었으며, 상관관계수는 0.973으로 고

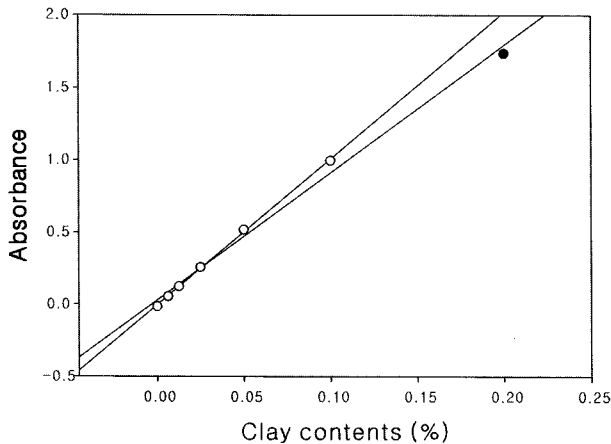


Fig. 3. Calibration curves used in the measurement of clay contents by spectrophotometry. ○:  $y=10.11x-0.0037$ ,  $r=0.9996^{**}$ , ●:  $y=8.82x+0.0288$ ,  $r=0.9968^{**}$ .

Table 4. Relationships between clay contents determined by spectrophotometry and those by the pipet method by regression analysis

Parameter under consideration	Linear regression equation	Correlation coefficient (r)
$x_1^z$	[1] $y = 40.03x_1 - 5.27$	0.973**
$x_2$	[2] $y = 38.96x_2 - 5.08$	0.974**
$x_1, x_3$	[3] $y = 39.06x_1 - 0.17x_3 - 1.30$	0.983**
$x_2, x_3$	[4] $y = 38.03x_2 - 0.17x_3 - 1.17$	0.984**

$x_1$  = clay contents by spectrophotometry (%),  $x_2$  = water content corrected clay contents by spectrophotometry (%),  $x_3$  = organic matter content ( $g \cdot kg^{-1}$ ),  $y$  = clay contents by the pipet method (%).

도의 유의성이 인정되었다. 그러나 [1]식의 풍건 토양 0.5 g은 수분을 포함한 무게이기 때문에 분광광도법으로 측정된 점토함량에 수분함량을 고려하여 계산하고 피펫법과 회귀분석을 실시하여 [2]의 회귀방정식을 얻을 수 있었다. 상관계수는 [1]의 경우보다 다소 높아지기는 하였으나 두 결과의 차이를 t-test를 실시하여 비교해본 결과 1% 범위에서 통계적 유의차가 인정되지 않았다.

분광광도법의 방해요인으로 지적되었던 유기물 함량의 영향을 최소화하기 위해 분광광도법에 의해 측정된 점토함량과 유기물 함량 및 피펫법으로 측정된 점토함량간의 다중 회귀분석을 실시해본 결과 유기물 함량은 0.5% 범위에서 유의성이 인정되어 회귀방정식 [3]을 얻을 수 있었다. 상관계수는 [1], [2]식보다 높게 나타났으나 통계적인 유의차는 없었다. 마찬가지로 수분함량을 고려한 분광광도법의 점토함량과 유기물 함량 및 피펫법으로 측정된 점토함량간 다중 회귀분석을 실시한 결과 회귀방정식 [4]를 얻을 수 있었다. 상관계수는 0.984로 가장 높았으나 [1], [2], [3]의 결과와 통계적 유의차는 없었다.

이상의 결과를 종합하면 분광광도법을 이용하여 토양점토함량을 측정할 때 오차를 최대한 줄이는 방법은 다음과 같다. 토양시료의 점토함량을 분석할 경우 수분함량에 의해 발생하는 오차는 시료의 무게를 정량하기 전 105°C에서 12시간 정도 건조시킨 시료를 이용하면 해결될 수 있다. 유기물에 의한 영향은 높은 희석배수에 의해 많이 줄어들기는 하였으나 0.5% 범

위에서 통계적 유의차가 인정된 것으로 보아, 보다 정확한 값을 얻기 위해서는 일반 화학성분 분석시 통상적으로 이루어지는 유기물 함량( $g \cdot kg^{-1}$ )을 고려하여 회귀방정식 [4]에 대입하여 계산한다면 수분함량과 유기물함량에 따른 오차를 최대한 줄일 수 있을 것이다. 따라서, 분광광도법에 의해 측정된 점토함량은 [1]-[4]의 회귀방정식에 의해 기존의 표준 방법인 피펫법으로 분석된 점토함량으로 추정할 수 있다.

이 회귀방정식을 기기에 입력하거나 컴퓨터를 이용한다면 분광광도법으로 측정된 흡광도를 즉시 점토함량으로 환산할 수 있기 때문에 보다 빠르게 결과를 도출할 수 있다. 또한, 분광광도계는 현재 대부분의 분석기관에 보급되어 있고, 분석절차 또한 통상적으로 이루어지는 분석 실험과 크게 다르지 않기 때문에 누구나 분석이 가능하다. 따라서, 본 실험에서 개발한 분광광도법에 의한 점토함량 측정방법은 토양개량이나 산업적 이용의 이유로 점토함량을 빠르게 측정할 필요가 있는 농민이나, 기술자, 연구자들에게 매우 유용할 것으로 생각된다.

그러나, 본 실험에서는 유기물 함량을 회귀식에 보정하였을 뿐 정확한 유기물 분해실험을 거치지 않았기 때문에 유기물 함량이 많은 제주도 토양이나 부식토 등에 적용하기에는 다소 무리가 따를 것으로 생각된다. 또한, 본 실험은 비교적 다양한 점토함량 분포(3~45%)를 보이는 우리나라 토양을 대상으로 하였지만, 점토광물의 종류가 다양하고 토양 특성이 현저히 다른 토양에 대해서도 본 연구 결과의 적용이 가능한지 여부에 대해서는 앞으로 추가적인 연구가 수행되어야 할 것이다.

### 초 록

토양 입경분석 중 점토함량 분석과정은 특히 시간과 공간을 많이 필요로 한다. 본 연구는 분광광도계(spectrophotometer)를 이용하여 점토함량을 측정하는 방법을 개발하고자 수행되었다. 분광광도계를 이용한 점토함량 분석방법은 다음의 4단계를 통해 개발되었다. 첫째, 분광광도계로 점토 분석이 가능한 최적 파장을 선택하기 위해 표준 점토 시료(kaolinite, vermiculite, illite, montmorillonite)를 이용하여 점토종류에 따른 파장별 흡광도를 측정하였으며, 최적 파장으로 500 nm를 선정하였다. 둘째, 분광광도계를 이용한 재현성이 높은 분석 방법은 250 ml 삼각 플라스크에 풍건 토양과 분산액을 넣고 12시간 진탕(130 rpm)하여 토양시료를 분산시킨 후 용기를 30초간 상하로 흔들어 미리 설치한 cell에 4 ml를 피펫으로 취하여 즉시 흡광도를 측정하는 것으로 조사되었다. 셋째, 점토함량 정량 분석을 위해 검정선(calibration curve)을 작성하였다. 넷째, 분광광도법(spectrophotometry)으로 분석된 동일 시료의 점토함량을 표준 방법으로 알려진 피펫법(pipet method)으로 분석한 후 회귀분석을 실시하여 분광광도법으로 측정된 점토함량을 피펫법으로 분석한 결과로 환산하는 환산식을 유도하였다. 분광광도법으로 측정된 점토함량은 토양시료내에 포함된 유기물 함량과도 상관관계가 조사되어 피펫법으로 측정된 점토함량과 분광광도법으로 측정된 점토함량, 유기물 함량간의 다중 회귀분석을 실시하였다. 그 결과 회귀방정식은  $y = 38.03x_1 - 0.17x_2 - 1.17$ ( $y$  = 피펫법으로 측정된 점토함량(%);  $x_1$  = 분광광도법으로 측정된 점토함

량(%);  $x_2$  = 유기물 함량( $g \cdot kg^{-1}$ )이었으며, 상관계수는 0.984\*\*로 두 방법 사이에 높은 상관관계가 있는 것으로 조사되었다. 여기서 유도된 회귀방정식을 프로그래밍하여 컴퓨터나 분석기기에 입력시 시간과 공간을 절약하고 신속하고 정확하게 점토함량을 분석할 수 있을 것으로 판단된다.

**Key words:** 분광광도법, 피펫법, 점토함량, 입경분석

### 참고문헌

1. Bouyoucos, G. J. (1933) A comparison between the pipette method and the hydrometer method for making mechanical analysis of soils, with new directions. *Soil Sci.* **38**, 335-343.
2. Daddah, M. T. (1974) The hydrometer method for detailed particle-size analysis: 1. Graphical interpretation of hydrometer readings and test of method. *Soil Sci.* **118**, 102-108.
3. Gee, G. W. and Bauder, J. W. (1986) In *Methods of Soil Analysis: Part 1, Particle size analysis*. A. Klute (ed.) (2nd ed.), American Society of Agronomy, Madison, WI. pp. 383-411.
4. Hyun, B. K., Kim, M. S., Eom, K. C. and Jo, I. S. (2000) A more simplified hydrometer method for soil texture analysis. *J. Kor. Soc. Soil Sci. Fert.* **33**, 153-159.
5. Jo, I. S., Kim, L. Y., Ryu, K. S., Im, J. N., Um, K. T. and Kwag, Y. S. (1984) Design and performance of the modified hydrometer for the rapid measurement of clay content in soils. *J. Kor. Soc. Soil Sci. Fert.* **17**, 325-329.
6. Kilmer, V. J. and Alexander, L. T. (1949) Methods of making mechanical analyses of soils. *Soil Sci.* **68**, 15-24.
7. Liu, T. K., Odell, R. T., Etter, W. C. and Thornburn, T. H. (1966) A comparison of clay contents determined by hydrometer and pipette methods using reduced major axis analysis. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* **30**, 665-669.
8. Miller, W. P. and Miller, D. M. (1987) A micro-pipette method for soil mechanical analysis. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **18**, 1-15.
9. Sur, H. S. and Kukal, S. S. (1992) A modified hydrometer procedure for particle size analysis. *Soil Sci.* **153**, 1-4.
10. Allen, T. (1997) In *Particle size measurement*. (5th ed.), Chapman and Hall, New York.
11. Beuselinck, L., Govers, G., Poesen, J. and Degraer, G. (1998) Grain-size analysis by laser diffractometry: comparison with the sieve-pipette method. *Catena* **32**, 193-208.
12. Buurman, P., Pape, T. and Muggler, C. C. (1997) Laser grain-size determination in soil genetic studies 1. Practical problems. *Soil Sci.* **162**, 211-218.
13. Coakley, J. P. and Syvitski, J. P. M. (1991) In *Principles, methods, and application of particle size analysis: Sedigraph technique*. J. P. M. Syvitski (ed.), Cambridge University Press, New York, pp. 130-142.
14. Muggler, C. C., Pape, T. and Buurman, P. (1997) Laser-grain size determination in soil genetic studies 2. Clay content, clay formation, and aggregation in some Brazilian oxisols. *Soil Sci.* **162**, 219-228.
15. Naime, J. M., Vaz, C. M. P. and Macedo, A. (2001) Automated soil particle size analyzer based on gamma-ray attenuation. *Comput. Electron. Agric.* **31**, 295-304.
16. Pennington, K. L. and Lewis, G. C. (1979) A comparison of electronic and pipet methods for mechanical analysis of soils. *Soil Sci.* **128**, 280-284.
17. Welch, N. H., Allen, P. B. and Galindo, D. J. (1979) Particle-size analysis by pipette and SediGraph. *J. Environ. Qual.* **8**, 543-546.
18. Rural Department Administration (2000) Methods of soil and plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea.
19. Skoog, D. A., Holler, F. J. and Nieman, T. A. (1998) Principles of instrumental analysis. (5th ed.), Harcourt Brace and Company. pp. 355-416.
20. Mun, H. S. (1996) In *Clay mineralogy*. Mineumsa, Seoul.