

분광법을 이용한 토양 유기물의 간이 측정 방법의 국내 적용 가능성

서영호* · 모영문 · 조병욱 · 강안석 · 정병찬 · 정영상¹

강원도농업기술원, ¹강원대학교

Feasibility of a simple determination of soil organic matter content using spectrophotometric method in Korean soils

Young-Ho Seo*, Young-Moon Mo, Byoung-Ouk Cho, An-Seok Kang,
Byeong-Chan Jeong, and Yeong-Sang Jung¹

Gangwon Agricultural Research & Extension Services, Chuncheon 200-150, Korea

¹Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

A method currently used to determine soil organic matter (SOM), Tyurin method, is time consuming and expensive while accurate. Recently, a spectrophotometric determination was reported to be rapid, accurate, stable, easy to execute, and amendable to field use for soil samples obtained from Texas, USA. The objective of this study was to test if the spectrophotometric method is applicable to soils in Korea. Soil organic matter was extracted by 1 M HCl followed by a 0.25 M NaOH-0.1 M sodium pyrophosphate solution at a ratio of 1:250 soil:extractant. Soil organic matter determined by Tyurin method was linearly related to the value based on absorbance at 300 nm of the soil extracts with a coefficient of determination (r^2) of 0.81. Therefore, the result imply that this spectrophotometric method can be used to determine the soil organic matter of agricultural soils in Korea.

Key words: Soil organic matter, Simple determination, Spectrophotometric method

서 언

토양 잔류 양분에 의한 양분 축적 감소 및 수질 오염 예방, 그리고 작물에 대한 양분의 균형 공급을 위하여 토양검정에 의해 시비량을 결정하도록 권장하고 있으며, 벼와 밭작물, 노지채소, 과수에 대한 질소와 퇴구비의 사용량은 토양 유기물 함량을 기준으로 하고 있다 (National Academy of Agricultural Science (NAAS), 2006). 토양 유기물 함량은 시비량 결정의 주요 요인일 뿐만 아니라 토양의 경운 난이성, 공기와 물의 이동성, 수분 보유능, 입단 안정성, 토양 온도 등 물리성과 미생물 활성, 생물 다양성, 병원균 제어 등 생물학적 성질, 그리고 토사 유실과 오염물질의 흡착 등 환경보전적인 측면에서도 중요한 역할을 한다 (Gregorich et al., 1993; Stevenson, 1994; Sikora and Stott, 1996). 따라서 토양 유기물의 정량 분석은 오랫동안 널리 이루어져 왔다.

현재 우리나라에서 가장 많이 쓰이고 있는 토양 유기

물 분석법은 Tyurin법 (NAAS, 2000)으로, 이 방법은 비교적 정확한 장점이 있는 반면 시간이 걸리고 노동력과 비용을 요구하며 중크롬산 시약의 폐액 처리 문제 등의 단점이 있다. 이러한 단점을 보완한 토양 유기물의 측정 방법들이 여러 가지 제안되어 왔다. 한 예로, Sikora and Stott (1996)은 950°C에서 가열한 다음의 이산화탄소 방출량이나 무게 감량으로 토양 유기탄소를 정량하거나, 950°C 대신에 360°C에서 건조하는 방법을 권장하였다. 이 방법은 화학 시약을 사용하지 않고 상대적으로 숙련도를 요구하지 않는 단순한 방법이나, 실험실에서 수행하여야 하고 시간이 소요되며 탄산염에 의한 방해 고려하여야 한다. 또한, 현장에서 바로 분석 결과를 보기를 원하는 농업인들이 많으므로, 비록 정확도에서 떨어지더라도 빠르고 단순하게 분석할 수 있는 방법이 요구된다. Vasques et al. (2010)은 가시/근적외선 확산 반사율 분광법을 이용하는 방법을 제안하였는데, 이 방법은 비파괴적으로 손쉽게 결과를 얻을 수 있지만 보정 과정이 필요하고 고가의 기기를 갖추어야 한다.

최근 Harvey et al. (2009)은 흡광도를 측정하여 토양 유기물을 분석하는 방법을 미국 텍사스 주의 토양에

접수 : 2010. 11. 29 수리 : 2010. 12. 13

*연락처 : Phone: +82332486096

E-mail: seoysh@korea.kr

적용한 결과 빠르고, 비교적 정확하며, 안정적인 값을 얻을 수 있어 현장에서 활용할 수 있다고 하였다. 따라서 본 논문의 목적은 이 방법이 한국 토양에도 적용할 수 있는지를 검토하는 데 있다.

재료 및 방법

토양 유기물 함량과 흡광도 사이의 검량선을 작성하기 위하여 강원도내에서 채취한 토양 시료 가운데 39개 토양을 무작위 추출하여 사용하였으며, 이를 바탕으로 72개 토양의 유기물 함량을 구하여 관행 토양 유기물 분석법인 Tyurin 법의 측정값과 비교하였다. 본 실험에 쓰인 111개 토양의 화학성을 Table 1에 나타내었다.

토양 유기물의 간이 분석법은 Harvey et al. (2009) 이 제안한 방법으로 하였다. 즉 풍건토양 0.1 g을 5 mL 의 1 mol L⁻¹ 염산과 함께 50 mL 원심분리관에 넣고 회전식 교반기를 이용하여 120 rpm에서 5분간 혼합하였다. 20 mL 0.25 mol L⁻¹ 수산화나트륨-0.1 mol L⁻¹ 이인산나트륨 추출 용액을 넣고 한 번 더 5분간 혼합하였다. 이를 0.45 µm 실린지 필터로 여과한 여액으로 300 nm에서 흡광도를 측정하였다. 토양에서 염산과 수산화나트륨-이인산나트륨 용액에 의해 추출된 유기물 분획의 파장별 흡광도를 비교하고, 현장에서 토양 유기물을 간이 분석할 때 참고할 수 있게 하기 위한 목적으로 유기물 수준별 반응 정도를 보기 위하여 부식산 (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO)을 사용하였으며, 토양 시료에서와 같은 방법으로 반응시켰다.

간이 분석법에 의한 유기물 함량을 농촌진흥청 국립 농업과학원의 분석법 (NAAS, 2000)으로 습식분해법인 Tyurin 법에 의한 유기물 함량과 비교하였다. 즉 토양 시료에 10 mL 0.4 N 중크롬산칼리 황산 혼합 용액을 넣고 전열판에서 가열한 다음 증류수 150 mL를 넣었다. 85% 인산과 지시약을 넣고 0.2 N 황산제1철암모늄 용액으로 적정하였다.

Tyurin 법에 의한 유기물 함량과 간이 분석법에 의한

값과의 상관관계의 결정계수 (r²)와 통계적 유의성 등 통계분석은 SAS 프로그램 (v. 9.2)을 이용하였으며, root mean square error (RMSE)를 계산하였다 (Willmott et al., 1985).

결과 및 고찰

토양과 부식산의 자외선-가시광선 영역에서의 흡광도는 매우 비슷한 패턴을 나타내었다 (Fig. 1). 염산과 수산화나트륨-이인산나트륨에 의해 추출된 유기물이 부식산과 유사한 성질을 가지고 있는 것으로 보인다.

Tyurin 법에 의한 39개 토양의 유기물 함량과 300 nm에서 측정된 흡광도와의 관계를 Fig. 2에 나타내었으며, 회귀식은 다음과 같다.

$$A_{300} = 0.029 \text{ SOM} - 0.056$$

여기에서 A₃₀₀은 300 nm에서의 흡광도이며, SOM은 Tyurin법에 의한 유기물 함량이다. 이 상관관계는 통계적으로 유의 (p<0.0001)하였으며, y-절편은 0과 다르지 않았다 (p=0.19). 따라서 염산과 수산화나트륨-이인산나트륨 용액에 의해 추출된 유기물 분획이 전체 토양 유

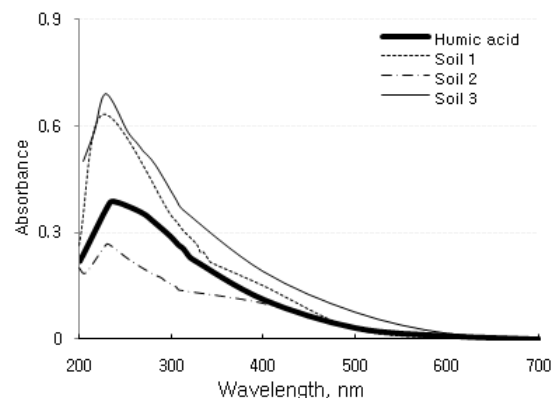


Fig. 1. Ultraviolet-visible light spectra of humic acid and three soil extracts.

Table 1. Selected soil chemical characteristics of soils used in the experiment.

	pH	Organic Matter	Available P ₂ O ₅	Exchangeable cation		
				K	Ca	Mg
	(H ₂ O, 1:5)	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹		
Mean	6.3	20	642	0.65	5.1	1.3
Max [†]	8.8	61	1,793	4.44	17.8	6.4
Min	4.0	4	9	0.05	0.6	0.1
SD	0.8	13	450	0.71	3.4	1.1

[†]Max : maximum, Min : minimum, SD : standard deviation.

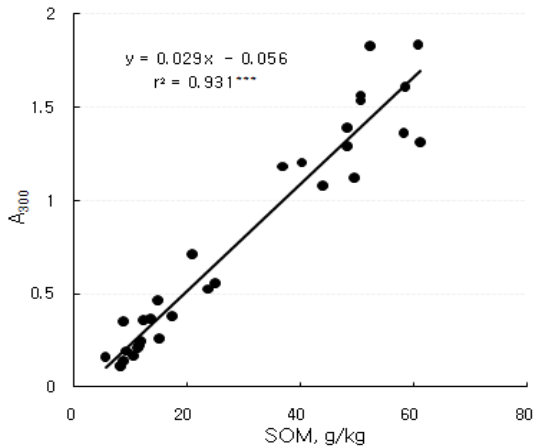


Fig. 2. Relationship between soil organic matter (SOM) determined by Tyurin method and soil extract absorbance at 300 nm (A_{300}) of 39 calibration samples. *** Significant at the 0.001 probability level.

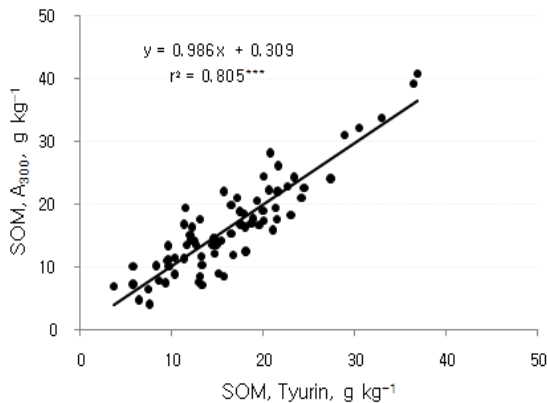


Fig. 3. Relationship between soil organic matter (SOM) determined by Tyurin method and based on absorbance at 300 nm (A_{300}) of 72 validation samples. *** Significant at the 0.001 probability level.

기물과 선형관계인 것을 알 수 있다. 다만, 토양 유기물이 50 g kg^{-1} 이상인 경우에는 데이터가 비교적 많이 분산되어 있어, 이 범위에서는 오차가 상대적으로 클 것으로 보이므로 주의가 요구된다. 그런데, 우리나라 농경지 토양은 시설재배지를 제외하고는 대부분 50 g kg^{-1} 이하이므로 우리나라 토양에 적용이 가능할 것으로 추정된다. 시간에 따른 흡광도의 감소는 비교적 작아서, 2시간 후에는 1.4%, 20시간 후에는 2.3% 감소에 불과하다.

토양 유기물과 흡광도에서 얻어진 값을 바탕으로 유기물 함량이 40 g kg^{-1} 이하인 72개 토양의 흡광도를 측정하여 유기물 함량을 결정하고 이 값을 Tyurin 법에 의한 유기물 함량과 비교하여 Fig. 3에 나타내었다. 상관관계는 통계적으로 유의 ($p < 0.0001$)하였으며, y -절편은 0과 다르지 않았고 ($p = 0.77$), 결정계수 (r^2)는 0.81이었다. 흡광도로 얻어진 값과 습식분해에 의해 얻어진



Fig. 4. Extracts of humic acid corresponding to 0, 4, 8, 20, 30, and 50 g kg^{-1} of soil organic matter from left to right.

값 사이의 RMSE는 3.38로 낮았다. 따라서 우리나라 토양도 염산과 수산화나트륨-이인산나트륨 용액으로 추출한 다음 흡광도를 측정하여 토양 유기물 함량을 결정할 수 있을 것으로 사료된다.

농가 현장에서 바로 유기물 함량을 간이 측정하는 데에는 두 가지 문제가 있을 수 있다. 하나는 분석에 쓰이는 토양의 양이 0.1 g 정도로 매우 소량이므로 그 포장을 대표할 수 있는 시료를 얻는 것이 쉽지 않다는 것이다. 토양 시료의 양을 늘리게 되면 토양과 추출 용액의 비가 1:250보다 커지게 되는데, 이 경우에는 유기물 함량이 $17 \sim 26 \text{ g kg}^{-1}$ 의 범위에서 비선형이 되며 (Harvey et al., 2009), 이 범위에 있는 토양이 적지 않으므로 바람직하지 않다. 따라서 대표성 있는 토양 시료를 얻기 위해 여러 지점에서 시료를 채취한 다음 잘 섞어주는 등 주의를 하여야 한다. 다른 하나의 문제는 흡광도계를 사용하면 정확한 흡광도를 제시하지만, 현장에서 300 nm에서의 흡광도를 재는 것이 쉽지 않다는 것이다. 비록 정확한 값은 얻지 못할지라도 Fig. 4와 같은 유기물 수준별 반응 정도를 기준으로 하여 육안으로 판정해야 할 것으로 보인다. 교반기 사용 문제는 Harvey et al. (2009)이 제안한 바와 같이 1분 간격으로 15~20초간 손으로 흔들어 주면 해결될 것으로 사료된다.

결론

염산과 수산화나트륨-이인산나트륨 용액으로 추출한 다음 흡광도를 측정하여 우리나라 토양의 유기물을 측정할 수 있는지를 검토하기 위하여 39개 토양으로 검량선을 작성하였으며, 이를 바탕으로 72개 토양의 유기물을 측정하여 현재 가장 많이 쓰이고 있는 습식분해법인 Tyurin 법에 의한 정량 결과와 비교하였다. 우리나라 토양 역시 흡광도를 이용하여 토양 유기물 함량을 결정할 수 있을 것으로 사료된다. 다만, 현장에서는 대표성 있는 시료를 얻기 위해 주의해야 하며, 육안으로 유기물 수준별 반응 정도와 비교하여 토양 유기물을 간이 측정해야 할 것으로 보인다.

인 용 문 헌

- Gregorich, E.G., C.M. Monreal, B.H. Ellert, D.A. Angers, and M.R. Carter. 1993. Evaluating changes in soil organic matter. p. 10-1-10-7. *In* Acton, D.F. (ed.) A program to assess and monitor soil quality in Canada: Soil quality evaluation program summary (interim). Center Land and Biol. Res. Contr. 93-49. Agric. Res. Branch, Agric. Ottawa, Canada.
- Harvey, O.R., B.E. Herbert, J.P. Harris, E.A. Stiffler, and J.A. Crenwelge. 2009. A new spectrophotometric method for rapid semiquantitative determination of soil organic carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73:822-830.
- National Academy of Agricultural Science (NAAS). 2000. Methods of soil chemical analysis. National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, Korea.
- National Academy of Agricultural Science (NAAS). 2006. Recommended fertilization of crops. National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, Korea.
- Sikora, L.J. and D.E. Stott. 1996. Soil organic carbon and nitrogen. p. 157-167. *In* Doran, J.W. and A.J. Jones. (ed.) Methods for assessing soil quality. Soil Sci. Soc. of Am., Madison, WI, USA.
- Stevenson, F.J. 1994. Humus chemistry: Genesis, composition, reactions. 2nd ed. John Wiley & Sons, New York, USA.
- Vasques, G.M., S. Grunwald, and W.G. Harris. 2010. Spectroscopic models of soil organic carbon in Florida, USA. *J. Environ. Qual.* 39:923-934.
- Willmott, C.J., S.G. Ackleson, R.E. Davis, J.J. Feddema, K.M. Klink, D.R. Legates, and C.M. Rowe. 1985. Statistics for the evaluation and comparison of models. *J. Geophys. Res.* 90:8995-9005.