

가시·근적외 분광 스펙트럼을 이용한 토양 특성 정량화

최은영^{1*}, 홍석영¹, 김이현¹, 송관철¹, 장용선¹

¹ 농촌진흥청 국립농업과학원 토양비료관리과

Quantification of Soil Properties using VNIR Spectroscopy

Eunyoung Choe^{1*}, S.Young Hong¹, Yi-Hyun Kim¹, Kwan-Cheol Song¹, and
Yong-Seon Zhang¹

¹ RDA, National Academy of Agricultural Science, Soil & Fertilizer Management Division

* Phone: +82-31-290-0346 E-mail: eychoe726@korea.kr

요약

농업과 환경분야에서 토양 상태를 신속하고 주기적으로 모니터링하는 것에 대한 관심이 높아지고 있다. 토양의 특성을 측정하는 기존의 화학분석 방식은 분석의 정밀도, 시료의 수, 분석항목 등에 따라 시간, 인력, 비용적 소모가 커진다. 최근에는 식품, 농업, 환경분야에서 신속하고 비파괴적 분석 방법으로 가시·근적외선 분광학을 도입하고 있다. 가시·근적외선 영역(VNIR, 400-2400 nm)에는 다양한 물질의 고유한 흡수분광형태가 존재한다는 이론적 토대로부터 물질의 정성·정량적 분석이 가능하다고 알려져 있다. 본 연구에서는 VNIR 분광 스펙트럼으로부터 Al, organic carbon (OC), clay, silt, sand, CEC (Cation exchange capacity), CEC/clay 등의 토양 특성을 정량하고자 하였다. 농경지에서 채취한 94개 토양시료를 기존의 화학분석 방법으로 분석하고 실내에서 VNIR 스펙트럼을 측정하였다. 스펙트럼은 원시형태와, 1차, 2차 도함수로 변환된 형태 모두 partial least square regression (PLSR) 모델에 적용하였다. PLSR에 의한 토양특성 추정식은 RMSE, R^2 , SDE, RPD 값을 이용하여 검증하였다. Al, OC, silt, sand 함량에 대해서는 통계적으로 유의한 수준의 추정값을 산출하였고, clay와 CEC/clay에 대해 추정된 값은 실측값과 약한 상관성을 나타내었다. 이러한 분광학적인 추정 기법은 영상을 이용한 정성·정량분석에 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

서론

농업과 환경분야에서 토양 상태를 신속하고 주기적으로 모니터링하는 것에 대한 관심이 높아지고 있다. 토양의 특성을 측정하는 기존의 화학분석 방식은 분석의

정밀도, 시료의 수, 분석항목 등에 따라 시간, 인력, 비용적 소모가 커진다(Ferrier, 1999; Kemper and Sommer, 2002; Choe *et al.*, 2008). 최근에는 식품, 농업, 환경

분야에서 신속하고 비파괴적 분석 방법으로 가시·근적외선 분광학을 도입하고 있다. 가시·근적외선 영역(VNIR, 400-2400 nm)에는 다양한 물질의 고유한 흡수분광 형태가 존재한다는 이론적 토대로부터 물질의 정성·정량적 분석이 가능하다고 알려져 있다(Ben-Dor, 1999; Choe *et al.*, 2008).

본 연구에서는 토양 시료의 분광스펙트럼을 이용하여 다양한 토양 특성을 정량화할 수 있는 모델을 산출하고자 한다.

연구 방법

가. 시료분석

농경지에서 채취한 94개의 토양 시료에 대해 pH, CEC, Ca, Mg, K, Na, Al, OC (organic carbon), clay, silt, sand, CEC/clay를 분석하였다. 토양 시료의 분광 스펙트럼은 ASD FieldSpec Pro (Analytical Spectral Devices Inc.)를 이용하여 350-2500nm 범위를 측정하였다. 측정 시에는 probe에 장착된 할로젠 램프를 이용하여 입사에너지를 균일하게 하였고, 매 측정시마다 Spectralon diffuse reflectance panel을 이용하여 calibration 하였다.

나. 토양 특성값 정량화

분광 스펙트럼으로부터 토양의 특성값을 산출하기 위해 부분최소제곱 회귀식 (Partial least squares regression; PLSR)을 이용하여 통계적 정량 모델을 구하였다. 원시 반사 스펙트럼(Raw reflectance)과 continuum을 제거한 스펙트럼을 이용하여 정량 모델을 구하고 각각의 성능을 비교하였다. 정량 모델에 대해서 RMSE (Root mean square error), SDE (Standard deviation of error), R^2 , RPD

(Ratio of prediction to deviation)를 이용하여 검증하였다.

연구결과 및 고찰

가. 토양 시료 분석결과

94개 토양 시료의 화학분석 결과는 표 1에 정리하였다. 토양 시료의 반사 스펙트럼은 그림 1과 같이 측정되었고 1400, 1900nm에서 H₂O에 의한 흡수가 관찰되었으나, 측정 시료는 모두 동일한 조건으로 건조한 뒤 측정하여 토양의 함수량에 의한 스펙트럼의 차이는 거의 없는 것으로 가정하였다. 그림 1에 나타나는 것과 같이 원시 스펙트럼은 일정한 background (continuum)값이 포함된 양상을 나타내었다. 각 영역에서 분광흡수 형태를 강조하기 위해 continuum을 제거하였다(그림 2). 그림 1과 2의 GR- 시료는 동일한 현장 지점에서 깊이별로 채취한 시료로 비슷한 광물 조성과 토양의 조건이 비슷하나 Al, OC, Mg, K, CEC, clay, silt, sand 함량과 같은 값에서는 차이가 나타났고 그와 마찬가지로 스펙트럼에서도 전체적으로 유사한 형태를 나타내고 있으나 특정 흡수 영역대에서 흡수강도의 변화가 발생하였다.

표 1. 토양 특성 분석 결과

Statistics	Average	Max.	Min.	Stdev
pH	5.22	6.78	3.91	0.61
Ca	3.32	13.37	0.10	2.77
Mg	2.43	11.40	0.12	2.18
K	0.37	1.99	0.02	0.42
Na	0.25	1.19	0.01	0.22
Al	2.81	10.06	0.04	2.55
Org.C	6.96	34.75	0.49	7.64
Clay	34.82	54.10	13.20	8.60
Silt	48.60	69.90	20.90	11.44
Sand	16.58	58.93	1.94	14.92
CEC	18.02	30.13	9.47	5.03
CEC/clay	0.54	1.12	0.31	0.17

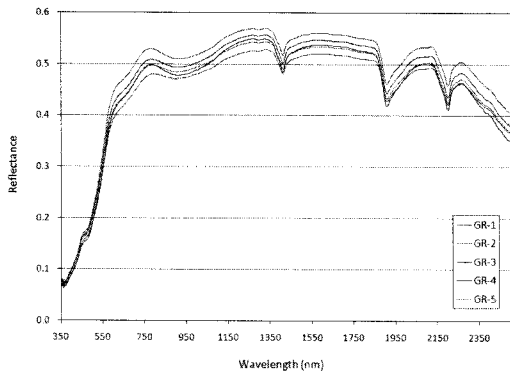


그림 1. 원시 반사 스펙트럼

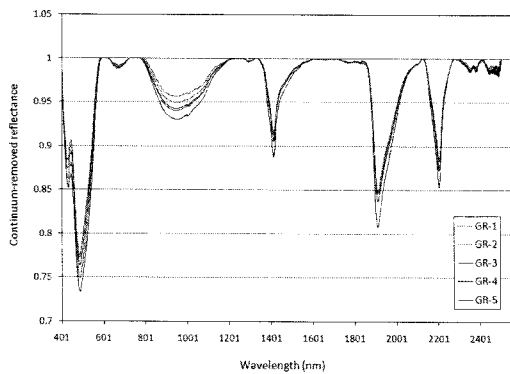


그림 2. Continuum을 제거한 스펙트럼

나. 통계적 정량화 결과

원시 반사 스펙트럼과 continuum 제거 스펙트럼을 PLSR 식에 대입하여 정량식을 산출하였다. 두 스펙트럼에 의한 정량식의 검증 결과는 표 2에 정리하였다.

표 2. 원시반사스펙트럼과 continuum 제거 스펙트럼의 정량모델 검증 결과

Properties	Raw Spectra				Continuum-removed Spectra			
	RMSE	R^2	SDE	RPD	RMSE	R^2	SDE	RPD
Al	1.68	0.61	1.69	1.52	1.79	0.57	1.80	1.43
OC	4.27	0.71	4.29	1.79	3.60	0.78	3.62	2.12
Clay	5.80	0.56	5.83	1.48	5.93	0.53	5.95	1.45
Silt	6.38	0.70	6.42	1.79	10.08	0.52	10.10	1.13
Sand	8.54	0.68	8.59	1.75	10.57	0.51	10.63	1.41
CEC/Clay	0.12	0.54	0.12	1.44	0.12	0.54	0.12	1.45

12개의 토양 특성을 분석하였는데 Al, OC, clay, silt, sand, CEC/clay 항목에 대해서만 유의한 수준의 결과를 나타내었다. RPD는 1.5 이상일 때 approximate prediction이라고 표현할 수 있는데 원시 반사 스펙트럼에 의한 정량 결과는 대부분 1.5 이상의 값을 나타내었다. 또한 OC를 제외한 5개의 토양 특성값은 원시 반사 스펙트럼을 이용한 정량식이 RPD 뿐만 아니라 다른 항목에서도 통계적으로 더 유의한 수준의 결과를 나타내었다. 그림 3에 원시 반사 스펙트럼을 이용한 추정값과 실측값을 비교하였다. Al, OC, silt, sand는 R^2 값이 0.6 이상으로 통계적으로 유의한 수준의 결과를 나타내었고 clay, CEC/clay의 경우에는 약한 상관성 정도를 나타내었다.

결론

농경지에서 채취한 94개의 토양을 이용하여 분광 스펙트럼과 화학분석에 의한 토양 특성값의 통계적 정량화를 수행하였다. 스펙트럼의 변환을 통해 정량화의 향상을 기대하였으나 원시 스펙트럼을 이용한 정량 결과와 유사하거나 약간 낮은 유의성을 나타내어 오히려 스펙트럼의 continuum의 제거와 같은 처리를 거치지 않고 더욱 신속하게 정량화를 할 수 있을

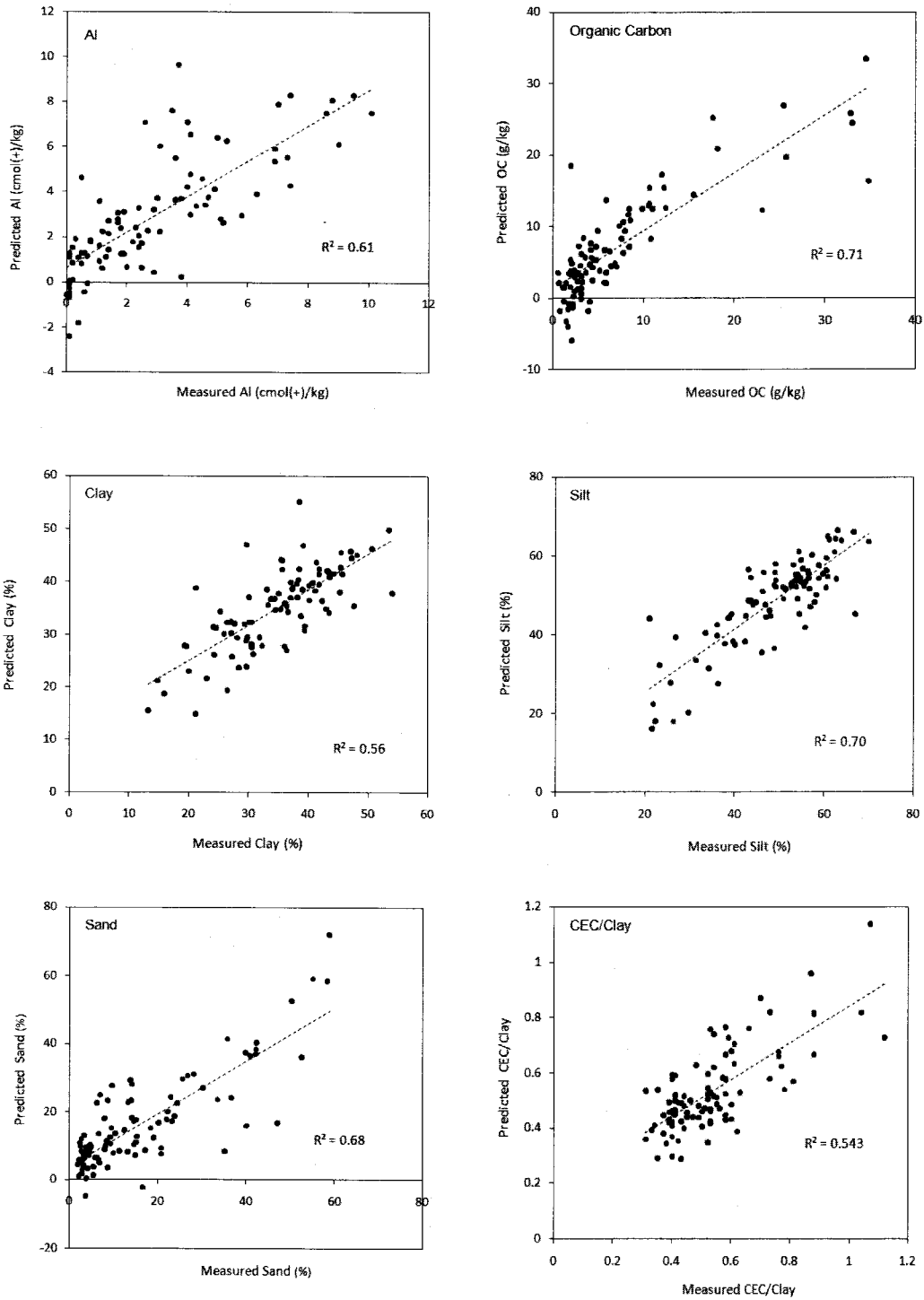


그림 3. 원시 반사 스펙트럼을 이용한 PLSR 정량 모델로부터 산출한 Al, OC, clay, silt, sand, CEC/clay의 추정값과 실측값 비교

것으로 사료된다. 빠르고 간단한 스펙트럼 분석으로 토양의 특성값을 추정함으로써 digital soil mapping에 활용할 수 있을 것으로 기대되며, 또한 이러한 정량 기법은 위성이나 항공기 영상의 분광 스펙트럼을 이용한 정성·정량 분석에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- Ben-Dor, E. Irons, J.R., and Epema, G.F. (1999), Soil reflectance. In A.N. Rencz (Ed.), *Remote sensing for the earth sciences: Manual of remote sensing* (pp.111-188). New York: John Wiley&Sons.
- Choe, E., van der Meer, F., van Ruitenbeek, F., van der Werff, H., de Smeth, B, and Kim, K.-W. (2008), Mapping of heavy metal pollution in stream sediments using combined geochemistry, field spectroscopy, and hyperspectral remote sensing: a case study of the Rodalquilar mining area, SE Spain, *Remote Sens. Environ.* 112, 3222-3233.
- Ferrier, G. (1999), Application of imaging spectrometer data in identifying environmental pollution caused by mining at Rodaquilar, Spain. *Remote Sens. Environ.*, 68, 125-137.
- Kemper, T. and Sommer, S. (2002), Estimate of heavy metal contamination in soils after a mining accident using reflectance spectroscopy. *Environ. Sci. Technol.*, 36, 2742-2747.