한국농업기계학회지 제26권 제5호. pp. 475-480. 2001

근적외선 반사도를 이용한 토양 유기물 함량 측정

Measurement of Soil Organic Matter Using Near Infra-Red Reflectance

조성인 정회원 S. I. Cho　배영민 정회원 Y. M. Bae　양희성 H. S. Yang　최상현 S. H. Choi

SUMMARY

Sensing soil organic matter is crucial for precision farming and environment friendly agriculture. Near infra-red(NIR) was utilized to measure the soil organic matter. Multivariate calibration methods, including stepwise multiple linear regression(MLR), principal components regression(PCR) and partial least squares regression(PLS), were applied to soil spectral reflectance data to predict the organic matter content. The effect of soil particle size and water content was studied. The range of soil organic matter contents was from 0.5 to 11%. Near infrared (NIR) region from 700 to 2,500nm was applied. For uniform soil particle size, result had good correlation ($R^2 = 0.984$, standard error of prediction = 0.596). The effect of soil particle size could be eliminated with 1st order derivative of the NIR signal. However, moist soil had a little lower correlation. R^2 was 0.95 and standard error of prediction was 0.94% using the PLS method. The results showed the possibility of soil organic matter measurement using NIR reflectance on the field.

Keywords : Precision farming, NIR(Near infra-red), Soil organic matter, Water content, Particle size.

1. 서　　론

기존의 농작물 생산을 위한 농업은 대규획화된 경작지내의 국소적인 환경차이는 무시한 채, 획일적인 비료 및 농약을 투입하여 작물을 재배하는 형태이다. 그러나, 이런 형태는 과다한 농약의 투입으로 인하여 환경오염 및 토양 산성화 등의 문제점을 가져 왔고, 이를 해결하기 위한 대안으로 정밀 농업(precision farming)이라는 개념이 도입되었다. 정밀농업은 경작지내의 국소적 변이를 고려하고 위치적으로 서로 다른 농약 및 비료의 양으로 처방하는 형태이며, 처방 농업(prescription farming)이라고도 한다. 이런 정밀 농업은 국소적 변이를 고려하여 농약 및 비료 등의 양을 조절하므로 이전의 방법에 비해 농약 및 비료를 절감하여 생산비용을 절감을 할 수 있으며, 농약의 남용을 막아 환경 오염을 줄일 수 있다.

정밀 농업의 국소적 처방을 위해서는 경작지 내 토양 성분 변이를 파악해야 한다. 이 중 유기물 함량은 질소 비료의 시비량과 토양 오염도를 나타

This research was supported by Ministry of Agriculture and Forestry(project No : 98-3012). The article was submitted for publication in May 2001, reviewed in June 2001, and approved for publication by the editorial board of KSAM in August 2001 The authors are Seong In Cho, Associate Professor, Young Min Bae, former Research Assistant, Hee Sung Yang and Sang Hyun Choi, Research Assistant, Dept. of Agricultural Engineering, Seoul National University, Suwon, Korea. The corresponding author is S. I. Cho, Associate Professor, Dept. of Agricultural Engineering, Seoul National University, Suwon, 441-744, Korea. E-mail: <sicho@snu.ac.kr>.

내는 기준이 될 수 있다. 그리고 유기물의 시용은 양분 및 미량요소 공급 등 직접적인 효과뿐만 아니라 유기물 자체의 물리적 특성에 의한 토양의 구조개선, 양분 및 수분의 보존능 증대, 경운성 향상, 온도 상승 및 미생물 활동 촉진 등의 간접적인 효과도 크기 때문에 정확히 측정할 필요가 있다(농촌진흥청, 2000). 현재 시행되는 유기물 함량 측정법은 포장 내 토양의 샘플을 채취하여 실험실 내에서 시행되고 있으며, 주로 Walkeley-Black 방법을 이용하고 있다. 그러나, 이런 분석적 방법은 복잡한 분석과정으로 전문 인력이 필요하며, 분석 시간이 길어서 포장내 위치별 유기물 함량 분포를 측정하기에는 적합하지 않다. 따라서 조작하기 쉽고 신속한 계측이 가능한 센서의 개발이 필요하다.

Bower(1965) 등은 토양시료를 가시광 영역 및 근적외 영역의 스펙트럼에서 측정하여 시료의 수분, 입경과 유기물 함량에 대한 스펙트럼의 영향을 조사하였다. 또한, Krishnan(1980) 등은 토양의 가시 및 근적외 스펙트럼을 측정하여, 수식화한 토양 유기물 함량 정량법을 보고하였다. Shoonk (1991) 등은 단일 파장(660nm)으로 유기물 함량을 측정할 수 있는 센서를 개발하였다. 이 프로토타입 센서를 이용하여 필드 테스트를 수행하여 R^2 =0.83을 보였다. Palmborg(1993) 등은 NIR 스펙트럼과 토양의 탄소 함량, 질소 함량과의 관계를 구하여 토양의 기초 호흡율, lag time을 모델링하였다. Dematte(1999) 등은 토양 반사도를 이용하여 광물, 유기물 함량, 철, 칼륨, 칼슘 등을 수식화 하였다. 또한, 농촌진흥청(1996)에서는 건조시켜서 분쇄한 토양의 표면에 근적외선을 조사하여 유기물, 수분 및 전질소 함량을 측정하였다.

본 연구는 포장에서 신속한 유기물 측정을 위한 기초 연구로서, 근적외선 분광분석법을 이용하여 토양내의 유기물 함량 측정 가능성을 구명하며, 실제 포장에서의 분석에 영향을 줄 수 있는 토양 입자의 크기 및 수분 함량 등의 영향을 구명하는 것을 목적으로 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 토양 시료

(1) 토양 시료

유기물 분석에 이용한 토양 시료는 수원, 대관령 지방에서 밭 토양을, 원주 지방에서 논 토양을 채취하였으며, 토양 윗부분의 잔유물을 걷어낸 다음 약 10~20cm 깊이에서 채취하였다. 표 1은 각 지역 토양의 유기물 분포이다.

(2) 토양 시료 조제

(가) 토양 입자의 크기와 수분 함량의 영향을 배제한 상태에서의 유기물 함량과 토양 흡광도와의 관계를 알아보기 위해서 건조한 토양을 500㎛의 표준 체를 사용하여 일정한 입자크기의 시료를 조제하였다.

(나) 토양 입자가 흡광도에 미치는 영향을 분석하기 위해서 풍건토양을 체로 거르지 않은 것과 각각 300, 500, 850㎛의 체로 거른 토양 등 4단계로 조제하였다.

(다) 토양 중의 수분 함량이 흡광도에 미치는 영향을 분석하기 위해서 시료를 조제하였다. 토양 수분 함량의 대략적인 범위가 20~40%이므로, 입자크기가 일정한 토양의 수분을 각각 20, 30 및 40%로 조정하여 시료를 조제하였다.

나. 유기물 함량의 화학적 분석

토양 유기물 함량의 화학적으로 측정 방법은 Walkeley-Black 방법을 사용하여 측정하였다 (Nelson, 1982). 측정 방법은 다음과 같다. 500㎛ 체로 친 0.5g의 풍건토에 1N $K_2Cr_2O_7$ 10ml와 conc. H_2SO_4 20ml를 넣고 1분간 잘 섞어준다. 약 30분간 방치한 후 200ml의 증류수를 넣은 다음, 지시약 3~5방울을 넣는다. 마지막으로 0.5N $FeSO_4$로 푸른색이 붉은색으로 변할 때까지 적정

Table 1 Soil samples and organic matter contents

	수원(서울농대농장)	대관령 고랭지 지방	원주 지방
시 료 수	40	30	40
유 기 물 분 포	0.5~3%	4~11%	2~5%

한다. 이렇게 유기물을 측정하는데 시료 한 개당 약 40분이 소요되었다.

다. 토양의 흡광도 측정

근적외선 분광계(Model 6500, NIRSystems Inc., USA)를 이용하여 가시광 영역과 근적외 영역인 400nm에서 2500nm까지 2nm 간격으로 반사도를 측정하였으며, 이 값을 흡광도로 변환하였다. 이 때, 샘플 토양은 원형 셀에 담아, 일정한 수직압을 받을 수 있도록 압축용 추를 이용하여 다짐 정도를 일정하게 하였다.

라. 데이터 처리

데이터 처리는 NIR System에서 제공하는 통계 분석 프로그램인 NIRS(Ver. 3.10)를 사용하였다. 데이터의 전처리 과정으로는 400~2500nm의 파장을 2nm 간격으로 측정한 데이터를 처리속도 향상을 위해 8nm 간격으로 데이터를 추출한 후 평활화(Smoothing) 및 1차 미분, 2차 미분을 이용하여 산란 보정하였다. 이러한 전처리 과정이 끝난 후 MLR, PCR 및 PLS 분석 방법을 이용하여 주어진 데이터를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 입자크기가 일정한 건조 토양의 유기물 함량 예측

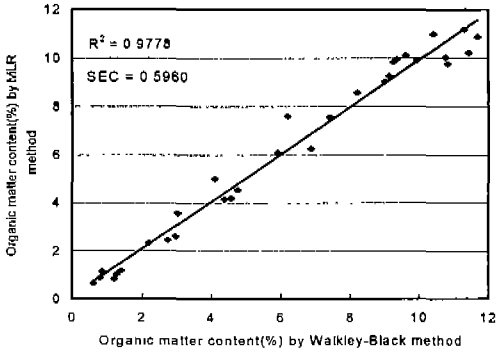
수분 함량과 입자 크기의 영향을 배제하기 위하여 토양을 건조시킨 후 체로 걸러 흡광도를 측정하였다. 흡광도를 이용하여 토양 유기물 함량에 대한 검량식을 작성하고 이 식을 검증하였다. 이 때 검량식 작성에 40개의 데이터, 검증에 39개의 데이터를 사용하였다. 검량식과 검증에 사용한 데이터는 110개의 데이터 중에서 NIRS 프로그램에 의해 랜덤으로 선택된 데이터들이다. 결과는 그림 1과 같으며 $R^2=0.984$와 SEP=0.481로 검증되었다.

검량식을 구하기 위해 다중 회귀 분석을 사용하였으며, 회귀 분석에 사용된 파장은 노이즈가 거의 없는 2164, 2220, 2388 및 2412nm이다. 이를 이용한 유기 함량 검량식은 다음과 같다.

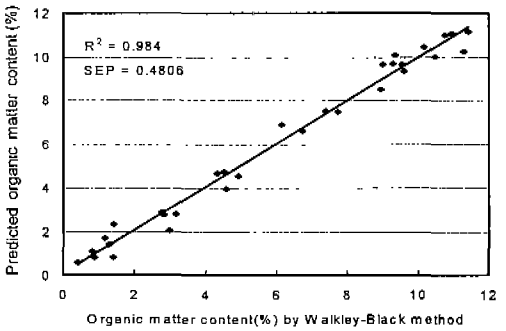
$$\text{유기물함량(\%)} = 1.063 + 28.166 \log \frac{1}{R_{2164}} - 25.905 \log \frac{1}{R_{2220}} + 58.423 \log \frac{1}{R_{2412}} - 58.357 \log \frac{1}{R_{2388}}$$

R : 각 파장대의 반사도

검량식에 사용된 2164, 2220, 2388 및 2412nm의 파장은 C-O, C-H, C=O, $(CH_3)_2-C$, $(CH_2)_3-C$, C-C, C=C, C-H, -OH, COOH, C-N, Aromatic ring(연속된 탄소가 고리를 이루고 있는 구조), 및 C≡N 등의 결합의 공진에 의해 흡광도의 그래프에 peak가 생기는 것으로 분석된다(Williams 등, 1990). 본 실험에선 수집된 토양의 유기물 함량을 변이폭 0.4%에서 11.6%까지 SEP=0.4806으로 측정



(a) Calibration for the prediction model.



(b) Validation of the prediction model.

Fig. 1 Prediction of soil organic matter contents from dried and homogenized soil using MLR modeling.

할 수 있었으며, 위의 결과로 근적외선 분석법을 이용한 토양 유기물 함량 측정이 가능하다고 판단된다.

나. 입자 크기가 다른 토양의 유기물 함량 예측

실제 포장에서 신속한 유기물 측정을 위해서는 자연상태의 토양을 직접 사용해야 한다. 이때, 토양 입자 크기가 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위해서 동일한 토양을 건조시켜 입자 크기를 각각 300, 500 및 850㎛의 표준 체로 거른 토양과 체로 거르지 않은 토양의 흡광도를 측정하였다. 그림 2는 4가지의 다른 입자크기의 같은 유기물 함량을 갖는 토양의 흡광도를 보여주고 있다. 그림에서 나타나듯이 같은 유기물 함량을 가진 토양이라도 입자의 크기에 따라 흡광도에 수직방향의 바이어스가 생김을 알 수 있다. 이러한 바이어스는 미분을 통해 제거할 수 있으며 그림 3은 흡광도 스펙트럼의 1차 미분을 스펙트럼이다.

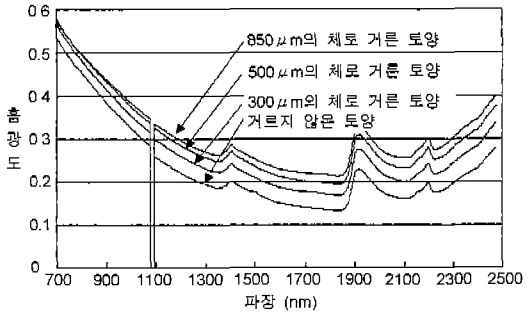


Fig. 2 Near infra-red spectra from different soil samples.

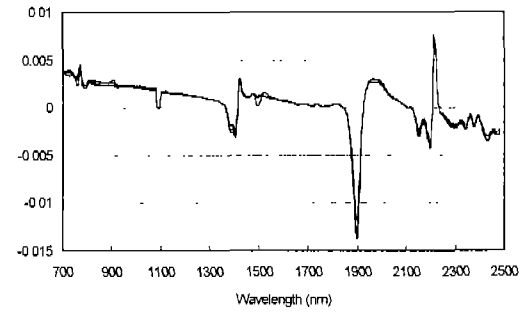


Fig. 3 Near infra-red spectra from soil samples having the same organic matter contents(1st order differential).

다중 회귀 분석을 이용하여 토양입자에 따른 유기물 검량식을 작성하였으며 검량식 작성을 위해 10개, 검증을 위해 10개의 데이터를 사용하였다. 각 검량식의 검증 결과를 표 2에 나타냈다. 흡광도의 1차 미분을 한 검증결과가 흡광도와 흡광도의 2차 미분의 검증결과보다 SEP 값이 감소했음을 알 수 있다. 입자를 거르지 않은 자연 상태의 토양과 입자크기를 조절한 토양의 결과를 비교해 보면, 유기물 함량 예측에 입자 크기의 영향이 거의 없음을 알 수 있다. 따라서, 토양 입자 크기의 영향을 줄일 수 있다는 것을 확인하였다.

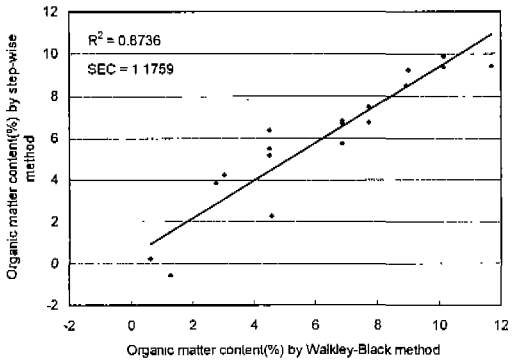
다. 함수 토양의 유기물 함량 예측

수분 함량을 20, 30 및 40%의 3 수준으로 나눈 후 이를 합쳐서 실험에 사용하였으며 검량식 작성을 위해 20개의 데이터를 사용하였고, 검증을 위해 19개의 데이터를 임의로 분류하여 사용하였다.

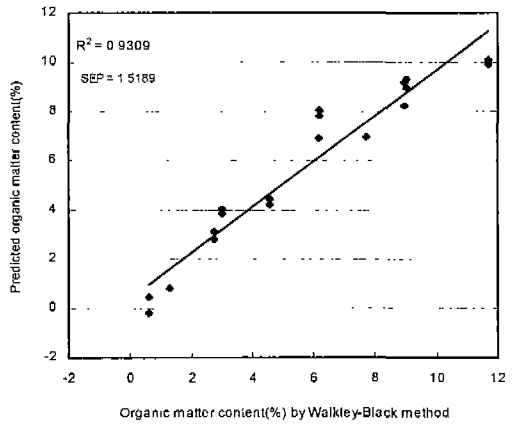
Table 2 Prediction on soil organic matter contents

	입자크기	R^2	SEC	SEP
흡광도	300 μm	0.9839	0.5138	0.2405
	500 μm	0.9789	0.4685	0.5750
	850 μm	0.9881	0.3478	0.5602
	거르지않음	0.9933	0.2806	0.3672
흡광도의 1차미분	300 μm	0.9717	0.3441	0.2136
	500 μm	0.9731	0.5919	0.5481
	850 μm	0.9936	0.2818	0.6805
	거르지않음	0.9926	0.3569	0.2329
흡광도의 2차미분	300 μm	0.9468	0.9221	0.4754
	500 μm	0.952	0.7665	0.4556
	850 μm	0.9698	0.5285	0.7213
	거르지않음	0.9407	0.8265	0.6758

그림 4는 1차 미분한 흡광도를 step-wise 분석법을 이용하여 검량식을 작성하고 검증한 그림이다. 사용된 파장은 896nm와 1404nm이며, $R^2 = 0.9309$, SEP = 1.5989로 측정한 데이터를 검증할 수 있었다. 또한, 전파장대에 걸쳐서 행해지는 분석법인 PCR과 PLS 분석법을 사용하여 회귀 분석을 재시도 하였다. 그림 5와 6은 그 결과를 나타낸 것이다. PLS 분석법을 사용할 경우 R^2가 0.9454로 증가하였으며 SEP는 감소하였다. 따라서 PLS 분석법 같은 적절한 통계 기법을 이용하면 토양 수분 함량의 영향을 줄일 수 있는 것으로 판단되었다.



(a) Calibration of the prediction model.



(b) Validation of the prediction model.

Fig. 4 Prediction of soil organic matter contents from moist soil samples using step-wise modeling.

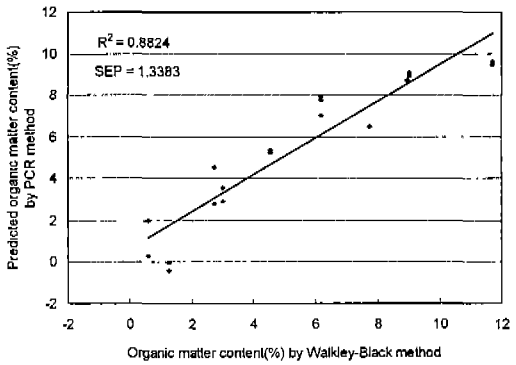


Fig. 5 Prediction of soil organic matter contents from moist soil samples using PCR modeling.

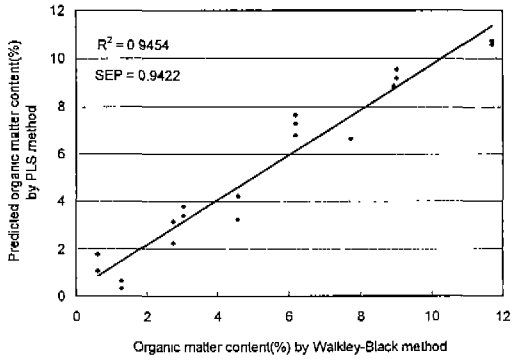


Fig. 6 Prediction of soil organic matter contents from moist soil samples using PLS modeling.

4. 요약 및 결론

건조한 토양의 입자크기를 일정하게 하여 얻은 NIR 흡광도를 회귀 분석한 결과는 $R^2 = 0.984$이고, SEC와 SEP는 각각 0.5960, 0.4806이다. 그리고 토양의 입자크기를 조절하였을 경우, NIR 흡광도를 회귀 분석한 결과는 $R^2 = 0.9789$ 보다 높은 값을 보였으며, SEC와 SEP는 각각 0.5138, 0.5750 보다 낮은 값을 보여 주었다. 뿐만 아니라 1차 미분을 통하여 입자크기의 영향을 제거할 수 있었다. 반면에, 서로 다른 함수율을 갖는 토양의 NIR 흡광도를 이용하여 유기물 함량을 예측할 경우 상대적으로 상관계수 값이 낮았지만, 흡광도를 1차 미분

을 할 경우 $R^2 = 0.93$까지의 검증 결과를 얻을 수 있었다. 또한, 유의한 파장대만을 선정하여 분석하지 않고 전파장대에 걸쳐서 분석이 행해지는 PLS 법을 이용하여 검증 결과를 $R^2 = 0.95$까지 향상시킬 수 있었다. 이는 실제 포장의 토양을 건조시키거나 입자 크기를 조절하지 않고서도 유기물 함량을 계측할 수 있다는 가능성을 보여준다.

참 고 문 헌

1. 농촌진흥청. 1996. 전자파의 표면조사에 의한 토양 유기물, 수분 및 전질소의 비파괴 측정기 개발. 농촌진흥청.
2. 농촌진흥청. 2000. 유기물 자원별 토양물리성 개선효과. 홈페이지.
3. Bowers, S. A. and R. J. Hanks. 1965. Reflection of radiant energy from soils. Soil Science. vol. 100(2):130-138.
4. Shonk, J. L., L. D. Gaultney, D. G. Schulze and G. E. Van Scoyoc. 1991. Spectoscopic Sensing of Soil Organic Matter Content. ASAE paper. vol. 34(5):1978-1984.
5. Dematte, J. A. M. and G. J. Garcia. 1999. Alteration of Soil Properties through a Weathering Sequence as Evaluated by Spectral Reflectance. Soil Science Society of America Journal. vol. 63, Issuc 2, 327-342.
6. Krishnan, P., J. D. Alexander, B. J. Butler and J. W. Hummel. 1980. Reflectance technique for prediction soil organic matter. Soil Sci. Soc. Am. J., 44, 1282-1283.
7. Nelson, D. W., and L. E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. Method of soil analysis, Part 2. Chemical and Microbiological properties(2nd edition). 539-579
8. Palmborg, C. and A. Nordgren. 1993. Modelling microbial activity and biomass in forest soil with substrate quality measured using near infrared reflectance spectroscopy, Soil Biol. Biochem, vol. 25(12):1713-1718
9. Williams, Phil and Norris, Karl. 1990. Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries. American Association of Cereal Chemists, Inc. Second Edition.