

근적외선 분광분석법을 이용한 토양 유기물 함량 측정⁺

Measurement of Soil Organic Matter Using Near Infra-Red Spectroscopy

조성인*
정회원
S.I.Cho

배영민*
정회원
Y.M.Bae

양희성*
정회원
H.S.Yang

1. 서론

기존의 농업 작물 생산을 위한 농업은 대구획화된 경작지내의 국소적인 환경차이는 무시한 채, 획일적인 비료 및 농약을 투입하여 작물을 재배하는 형태이다. 그러나, 이런 형태는 과도한 농약의 투입으로 인하여 환경오염 및 토양의 산성화 등의 문제점을 가져 왔고, 이를 해결하기 위한 대안으로 정밀 농업(precision farming)이라는 개념이 도입되었다. 정밀농업은 다른 말로 처방 농업(prescription farming)이라고도 하며 경작지내의 국소적 변이를 고려하고 지역적으로 서로 다른 농약 및 비료의 양으로 처방하는 형태를 가진다. 이런 정밀농업은 국소적 변이를 고려하여 농약 및 비료 등의 양을 조절하므로 이전의 방법에 비해 농약 및 비료를 절감하여 생산비용을 절감할 수 있으며, 농약의 남용을 막아 환경 오염을 줄일 수 있다.

정밀 농업의 국소적 처방을 위해서는 경작지내 토양 성분 변이를 파악해야 한다. 이 중 유기물 함량은 질소 비료의 시비량과 토양 오염도를 나타내는 기준이 될 수 있어 이를 정확히 측정할 필요가 있다. 현재 시행되는 유기물 함량 측정법은 포장내 토양의 샘플을 채취하여 실험실 내에서 시행되고 있으며, 주로 Walkley-Black method를 이용하고 있다. 하지만, 이런 분석적 방법은 복잡한 분석과정으로 전문 인력이 필요하며, 오랜 분석시간이 걸려 이를 대체할 센서에 관한 연구가 이루어지고 있다.

Bower(1965)등은 토양시료의 가시광 영역 및 근적외 영역의 스펙트럼을 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. 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 한다.

⁺ 본 연구는 1999년도 농림부 첨단과제 지원사업(과제번호98-3012)에 의하여 수행되었음.

* 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부

2. 재료 및 방법

가. 토양 시료

1) 토양 시료

유기물 분석에 이용한 시료는 수원, 대관령, 원주 지방에서 채취하였으며, 표 1은 각 지역 토양의 유기물 분포이다.

Table 1. Soil samples and organic matter contents

	수원(서울농대농장)	대관령 고랭지 지방	원주 지방
시료수	40	30	40
유기물 분포	0.5~3%	4~11%	2~5%

2) 토양 시료 조제

가) 일정한 입자크기의 건조 토양을 조제 : 토양 입자의 크기와 수분 함량의 영향을 배제한 상태에서의 유기물 함량과 토양 흡광도와와의 관계를 알아보기 위해서 건조한 토양을 500 μm 의 표준 체로 사용하였다.

나) 입자 크기가 토양 흡광도에 미치는 영향을 분석하기 위한 시료 조제: 토양 입자가 흡광도에 미치는 영향을 분석하기 위해서 풍건토양을 체로 거르지 않은 것과 각각 300, 500, 850 μm 의 체로 거른 토양 등 4단계로 제조하였다.

다) 수분 함량이 토양 흡광도에 미치는 영향을 분석하기 위한 시료 조제: 토양 중의 수분 함량이 흡광도에 미치는 영향을 분석하기 위해서 일정한 입자크기의 수분을 각각 20, 30 및 40%로 조정하였다.

나. 유기물 함량의 화학적 분석

토양 유기물 함량의 화학적으로 측정 방법은 Walkley-Black Method를 사용하여 측정하였다(Nelson, 1982).

다. 토양의 흡광도 측정

토양 20g을 석영 유리창을 가진 셀에 담아 가시광 영역과 근적외 영역에서의 스펙트럼을 모두 측정하기 위해 근적외선 분광계를 이용하여 400nm에서 2500nm까지 2nm간격으로 측정하였다. 이 때, 입자의 다짐 정도를 일정하게 유지하기 위해서 같은 수직압을 받을 수 있도록 추를 제작하여 샘플 토양을 압축하였으며, 이 때의 수직압은 4696 N/m²이다.

라. 데이터 처리

데이터 처리는 NIR 측정장치 업체인 NIR System에서 제공하는 통계 분석 프로그램인 NIRS를 사용하였다. 데이터의 전처리 과정으로는 400nm~2500nm의 파장을 2nm 간격으로 측정된 데이터를 처리속도 향상을 위해 8nm 간격으로 데이터를 추출한 후 산란 보정 작업을 거쳤다. 이러한 전처리 과정이 끝난 후 Stepwise, MLR, PCR 및 PLS 분석 방법을 이용하여 주어진 데이터를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 입자크기가 일정한 건조 토양의 유기물 함량 예측

수분함량과 입자 크기의 영향을 배제하기 위하여 토양을 건조시킨 후 체로 걸러 흡광도를 측정하였다. 다중 회귀 분석을 이용하여 토양 유기물과 흡광도사이의 상관관계를 모형화하였다. 이때 모형화에 40개의 데이터, 검증에 39개의 데이터를 사용하였다. 결과는 그림 1와 그림 2에서와 같다.

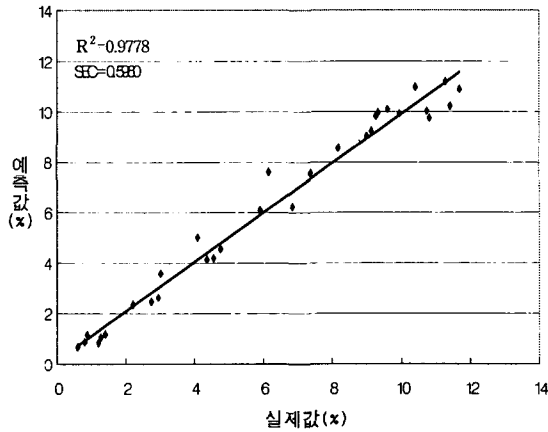


Fig 1. Prediction of soil organic matter contents from dried and homogenized soil using MLR(modeling).

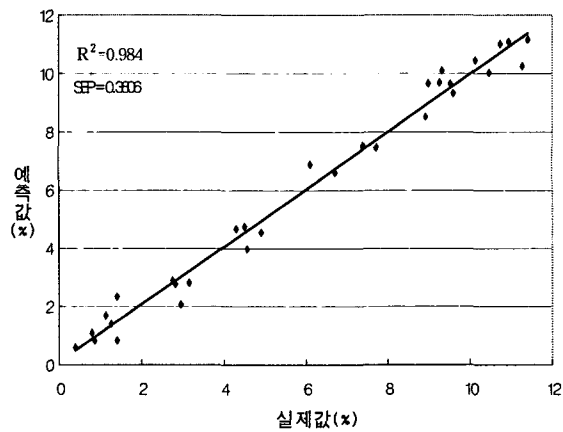


Fig 2. Validation of the prediction model.

예측 모델식을 구하기 위해 다중 회귀 분석을 사용하였으며, 회귀 분석에 사용된 파장은 2164, 2220, 2388 및 2412nm이다. 이를 이용한 유기 함량 예측식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{유기물 함량(\%)} = & 1.063 + 28.166 \log \frac{1}{R_{2164}} - 25.905 \log \frac{1}{R_{2220}} \\ & + 58.423 \log \frac{1}{R_{2412}} - 57.357 \log \frac{1}{R_{2388}} \end{aligned}$$

여기서, R은 각 파장대의 반사도

회귀식에 사용된 2164, 2220, 2412 및 2388nm의 파장은 C-O, C-H, C=O, (CH₃)₂-C, (CH₂)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(Norris 1990). 본 실험에선 수집된 토양의 유기물 함량을 변이폭 0.4%과 11.6%에서 SEP=0.3806으로 측정할 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 입

자 크기를 각각 300, 500 및 850 μm 의 표준 체로 거른 토양과 체로 거르지 않은 토양의 흡광도를 측정하였다. 그림 3는 4가지의 다른 입자크기의 같은 유기물함량을 갖는 토양의 흡광도를 보여주고 있다.

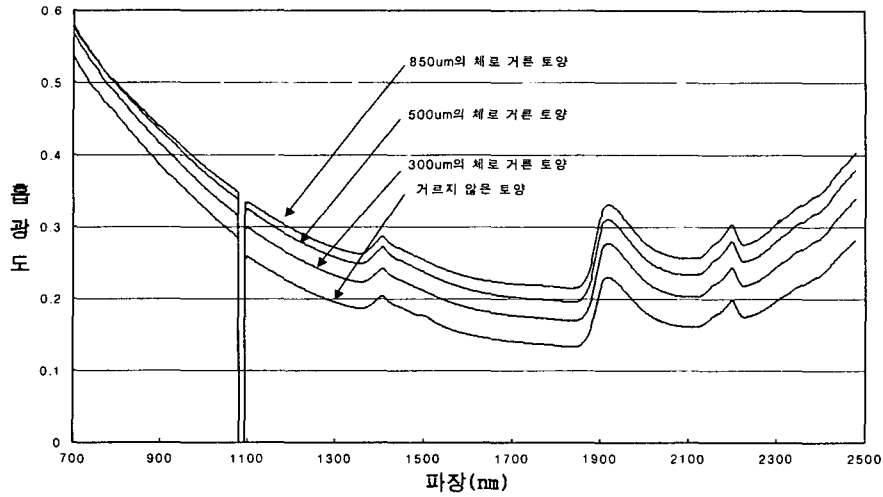


Fig 3. Near infra-red Spectra from different soil samples.

그림 4에서 나타나듯이 같은 유기물 함량을 가진 토양이라도 흡광도에 수직방향의 바이어스가 생김을 알 수 있다. 이는 그림 4에서와 같이 흡광도의 1차 미분과 2차 미분을 이용하면 제거할 수 있다.

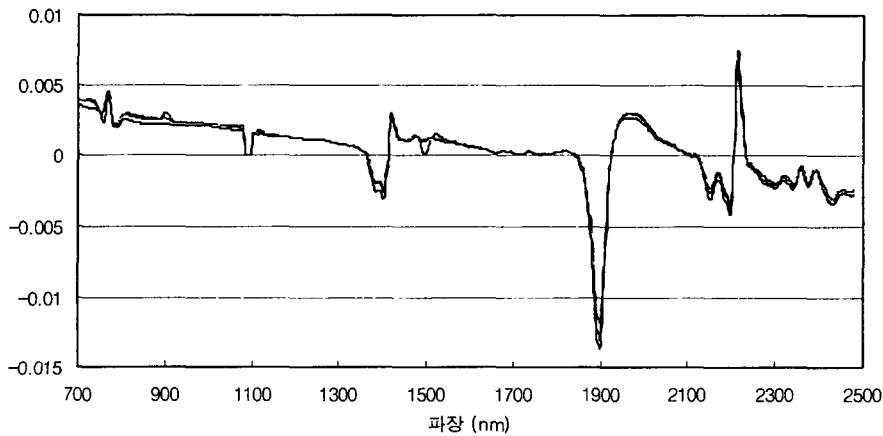


Fig 4. Near infra-red spectra from soil samples having the same organic matter contents(1st order differential).

자연상태의 토양으로부터 얻은 결과와 입자의 크기를 조절한 결과를 비교하면, 유기물 함량 예측에 입자의 크기 영향이 거의 없음을 보여주고 있다. 따라서, 토양의 입자크기에 대

한 영향은 NIR 스펙트럼의 미분을 통하여 제거할 수 있다.

표 2는 토양 입자크기에 따른 유기물 예측 결과를 보여 주고 있다.

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

표 2에서 주어진 결과에서 처럼 입자크기에 따른 예측 모형 성능은 큰 차이가 나타나지 않고 있으며, 오히려 자연상태의 토양에서 R^2 가 더 우수한 성능을 나타냈다.

다. 함수 토양의 유기물 함량 예측

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

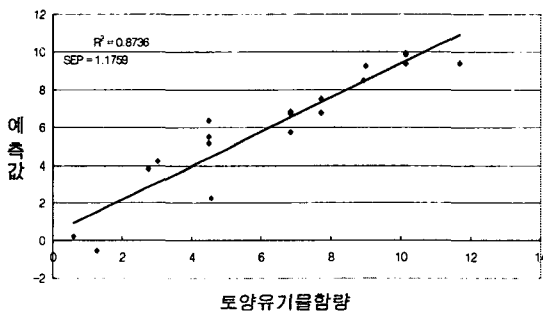


Fig 5. Prediction of soil organic matter contents from moist soil samples using step-wise modeling

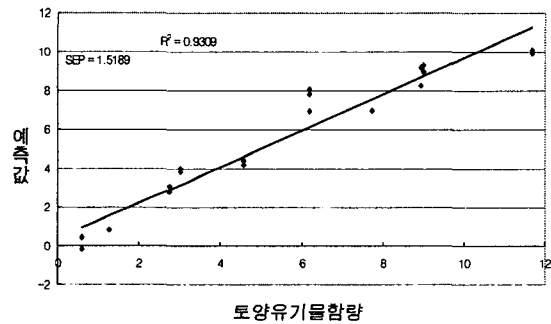


Fig 6. Validation of the prediction model.

그림 5와 6은 유의한 과장을 찾아내어 모델링하는 step-wise 분석법을 사용하였다. 또한, 전과장대에 걸쳐서 행해지는 분석법인 PCR과 PLS 분석법을 사용하여 회귀 분석을 재 시도 하였다. 그림 7과 8는 그 결과를 나타낸 것이다.

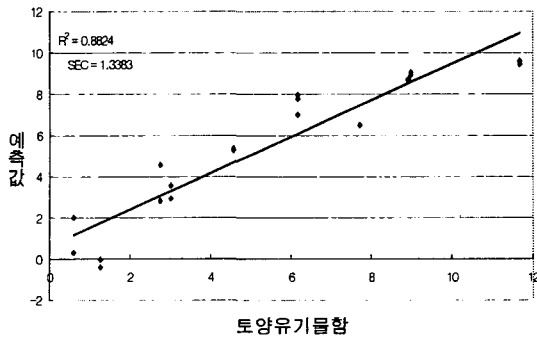


Fig 7. Prediction of soil organic matter contents from moist soil samples using PCR modeling

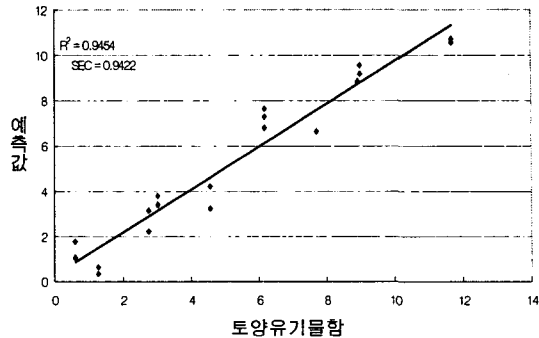


Fig 8. Prediction of soil organic matter contents from moist soil samples using PLS modeling.

4. 요약 및 결론

건조한 토양의 입자크기를 조절하여 얻은 흡광도를 회귀 분석한 결과 값은 $R^2=0.984$ 이고, SEC와 SEP는 각각 0.596, 0.380으로 유기물 함량 예측 모델의 가능성을 보여 주고 있다. 뿐만 아니라 1차 미분을 통하여 입자크기의 영향을 줄일 수 있었다. 반면에, 함수토양의 흡광도를 가지고 유기물 함량을 예측할 경우 $R^2=0.8736$ 으로 낮았지만, 흡광도를 1차 미분을 할 경우 $R^2=0.93$ 까지의 결과를 얻을 수 있었다. 또한, 유의한 파장대만을 선정하여 분석하지 않고 전파장대에 걸쳐서 분석이 행해지는 PLS법을 이용하여 예측 결과를 향상시킬 수 있었다. 이는 실제 포장의 토양을 건조시키거나 입자 크기를 조절하지 않고서도 유기물 함량을 예측할 수 있다는 가능성을 보여준다.

5. 참고문헌

1. 농촌진흥청. 1996. 전자파의 표면조사에 의한 토양 유기물, 수분 및 전질소의 비파괴 측정기 개발. 농촌진흥청
2. Bowers, S. A. and R. J. Hanks. 1965. Reflection of radiant energy from soils, Soil Science, vol. 100(2), 130-138.
3. 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
4. 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
5. 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
6. Williams, Phil and Norris, Karl. 1990. Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries. American Association of Cereal Chemists, Inc. Second Edition.