

# 토양 유기물 센서 개발<sup>†</sup>

## Development of Soil Organic Matter Measuring System<sup>†</sup>

성제훈 <sup>1</sup>	서상룡 <sup>2</sup>	정인규 <sup>1</sup>	이충근 <sup>1</sup>	이용범 <sup>1</sup>
정희원	정희원	정희원	정희원	정희원
J.H. Sung	S.R. Suh	I.G. Jung	C.K. Lee	Y.B. Lee

### 1. 서론

농작물 재배에서 토양 중의 양분을 일정 수준으로 유지하는 것은 매우 중요한 기술이다. 일반적으로 전년에 수확이후의 토양에 대해 토양중의 이화석 성분을 분석하여 일정한 시비기준에 의해 시비처방전을 만들고 이에따라 비배작업을 수행한다.

이러한 목적을 위해서는 토양 이화학성을 자주 측정해야 하는데, 기존의 토양유기물, 수분 및 전질소와 같은 이화학 성분 측정방법은 조작에 전문성이 필요하고 현장에서 결과값을 알 수 없는 단점이 있었다. 이러한 단점을 해결하고, 정밀농업형 기계에 맞는 실시간 처방을 위해서는 비접촉형 센서의 개발이 요구된다. 비접촉형 센서 개발을 위해 주로 사용되는 방법이 근적외선 반사를 분석하는 방법이다. 즉, 측정하고자 하는 토양에 전자파 에너지가 투입되고 반사될 때 생기는 에너지 차이를 수량화하여 토양 유기물 함량과의 상관관계로 토양 내 유기물 함량을 측정한다. 정밀농업형 센서는 일반 계측용 센서와 달리, 측정값을 몇 개의 그룹으로 구별하게 된다. 측정값이 어떠한 그룹에 속해 있는가에 따라 전문가 시스템에 의한 농작업 의사결정이 내려지고, 그 결정에 따라 변량형 농작업이 수행되게 된다.

국내외적으로 근적외선을 이용한 토양유기물 측정센서 개발에 관한 다양한 연구가 수행되었다. 조 등(2001)은 근적외선 분광분석법을 이용하여 토양내의 유기물 함량 측정 가능성을 구명하기 위한 연구를 수행하였다. 건조한 토양의 입자크기를 일정하게 하여 얻은 근적외선 흡광도를 회귀분석한 결과 토양유기물 함량과  $R^2=0.984$ 의 관계를 얻어 실제 포장의 토양을 가공하지 않고도 유기물함량을 계측할 수 있음을 보고하였다. Sudduth(1989)는 실시간으로 토양의 유기물 함량을 측정하는 장치를 개발하여 이를 지도화하는 연구를 수행하였으나 응답성능의 불안전성으로 실용화에 도달하지 못했다. 일본에서는 Shibusawa(1999a, 1999b)에 의해 토양 비옥도를 측정하기 위하여 광반사 스펙트럼을 이용한 유기물 함량 센서 또는 근적외선 반사 스펙트럼에 의한 토양 비옥도의 주요인 추정용 센서 등 비접촉식 토양 센서의 개발 예가 있지만 모두 토양 표면을 계측한 것으로 외란광의 영향 때문에 실용화되지 못하고 있다.

본 연구는 토양내 유기물 함량 측정 센서를 개발하는 연구로, 외란광의 영향을 배제하기 위해 지표면이 아닌 지표면으로부터 15~20 cm 정도 지하에서 인공광을 조사하고 이에 대한 토양의 반사광을 측정 분석하여 토양 유기물 함량의 많고 적음을 몇 개의 그룹으로 구별하는 데 목적이 있다.

1) 농업기계화연구소 기초기술기계과

2) 전남대학교 생물산업공학과

† 본 연구는 농림부 농림기술개발사업의 연구비지원에 의해 수행되었음.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 토양 유기물 함량에 민감한 파장대 결정

#### (1) 토양 시료

토양 유기물에 민감한 파장대를 결정하기 위해 지목별로 논토양, 밭토양, 하우스 토양 세 종류를 시료로 활용하였다. 이는 개발하고자 하는 토양 유기물 함량 측정장치를 전작과 수도작에 모두 사용할 수 있도록 개발하기 위함이다. 토양시료는 우리 나라 토양이 지역별로 약간의 차이가 있음을 감안하여 경기 수원과 김포, 경북 영주, 전남 나주와 해남, 충북 음성에서 총 92점의 시료를 채취하였다.

#### (2) 분광분석

토양의 분광특성을 조사하기 위해 근적외선 분광분석기(model 6500, NIRSystem, Perstorp Analytical, Inc.)를 이용하였다. 이 분석기는 400~2500 nm 파장영역을 2 nm 간격으로 스펙트럼당 1050 data points의 흡광도를 측정하는 장치이다. 본 분석기기는 측정된 물질의 반사도에서 표준물질의 반사도를 뺀 값을 0부터 6사이의 흡광도로 나타낸다.

#### (3) 유기물 함량 화학적 분석

채취한 토양 시료는 분광특성을 측정한 후 화학적인 방법에 의해 유기물 함량을 측정하였다. 유기물 함량은 농업기술연구소(현 농업과학기술원) 토양화학분석법에 준하였다(농기연, 1988). 유기물 측정에 사용된 기기는 시군 농업기술센터에 주로 보급돼 있는 토양·농약 분석 전용 분광광도계(KA-P, Soiltek)를 사용하였다.

### 나. 상관관계 분석 및 예측 모델 개발

다중회귀 분석을 이용한 토양 수분과 유기물 측정 모델은 수학적 처리 및 전처리를 실시한 스펙트럼과 실시하지 않은 반사 및 투과 스펙트럼의 흡광도를 대상으로 변수증가법을 이용하여 예측 모델을 개발하였다. 모델은 토양 수분에 민감한 파장대를 알기 위한 모델과 토양내 유기물 함량에 민감한 파장대를 알기 위한 모델로 나누어 분석하였다. 스펙트럼을 이용한 예측모델을 개발하기 위해 다중회귀 분석법(Multiple Linear Regression; MLR)을 이용하였다. 다중회귀모델 개발은 NEWISI 4.0(NIRSystems, Silver Spring, USA)를 사용하였다.

스펙트럼을 이용한 예측 모델을 개발하기 위하여 토양 시료 35점을 대상으로 400 nm부터 1400 nm까지의 스펙트럼을 이용하였다. 400 nm부터 2400 nm까지의 전체 스펙트럼을 이용하지 않은 이유는 실제 본 연구에서 개발하고자 하는 센서에 장착될 대역통과필터는 1400 nm까지의 필터만 사용할 예정이기 때문이다.

일반적으로 우리나라 토양의 평균 유기물 함량은 논이 2.2%, 밭이 1.9% 정도이다. 따라서 본 연구에서는 0~7%까지의 유기물 함량을 인위적으로 조제하여 모델을 개발하였다. 유기물은 유기물이 거의 없는 황토에 시중에서 판매되는 퇴비와 톱밥을 첨가하여 0~7%의 유기물을 조제하였다.

### 다. 모델 검증

본 연구에서 개발한 토양 유기물 함량 예측 모델을 검증하기 위한 시험장치를 제작하였다. 시험장치는 외란광의 영향을 받지 않도록 광을 차단한 후 가시광선부터 근적외선 영역까지의 인공광을 조사하고, 토양 표면에서 반사되는 반사광을 560±9.4, 905±10, 950±13.3, 1100±16.5, 1280±12 nm 5개의 대역통과 필터를 이용하여 측정할 수 있도록 제작하였다.

자료 저장은 10초동안 매초마다 저장하였으며, 이 중 저장 시작 직후 3개, 저장 종료 직전 3개를 제외한 4개의 데이터를 평균하여 분석에 이용하였다.

#### 라. 센서 제작 및 실행 프로그램 개발

##### (1) 실시간 토양 유기물 함량 측정센서 설계 제작

본 연구에서 개발하고자 하는 실시간 토양 유기물 센서는 토양 지표아래 15~20cm 부근에서 인공광을 조사한 후 그 반사광을 측정하게 된다. 따라서 광원을 조사하고 그 반사광을 측정할 수 있는 시스템을 지표 아래 부분에 갖추도록 설계해야 한다. 또한 저장장치, GPS 수신 시스템 등을 탑재하고 작업할 수 있도록 탑재체를 설계할 필요가 있다. 가능한 적은 부하로 지표 아래 부분의 토양을 절삭하기 위해서는 토양 절삭폭을 최소화 시킬 필요가 있는데, 이 폭은 광을 조사하고, 조사된 광을 받는 시스템이 들어갈 최소폭이 되어야 한다. 또한 절삭된 토양 면 중 일정면적 이상에 광이 조사되어야 하고, 조사된 면적의 중앙부분에서의 광 반사를 측정해야 한다.

유기물이 포함된 토양에 인공광을 조사하여 그 반사광을 측정하는 센서는 Electro Optical System Inc.에서 제작한 PBS-050-I와 S-050-I를 이용하였다. PBS-050-I는 700~1500 nm 범위의 광반사를 측정하고 S-050-I는 300~700 nm 범위의 광반사를 측정하여 0~10v 사이의 전압값으로 변환 출력한다.

##### (2) 실행 프로그램 개발

토양 유기물 함량 측정 센서의 관련 알고리즘을 개발하기 위해서는 위치별 각 필터에서의 출력값을 이용하여 유기물함량값이 저장되도록 하였다. 이를 위해 GPS 수신기를 통해 받은 측위 좌표와 유기물함량 값이 저장될 수 있도록 C++을 이용하여 구동 S/W를 개발하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 토양 유기물 함량에 민감한 광파장대 결정

토양 유기물 함량에 민감한 광파장대를 결정하기 위해 토양 시료 92점을 대상으로 400 nm부터 1400 nm까지의 스펙트럼을 분석하였다. 분석에는 원시 스펙트럼, 분할간격 및 평활화 간격을 변화시킨 1차 및 2차 미분 스펙트럼이 사용되었다. 스펙트럼 자료의 미분은 모든 자료의 기준선을 0으로 한 후 각 파장에서의 기울기를 계산하였다. 전처리는 일반적으로 이용되는 다분산 보정(Multiplicatives Scatter Correction: MSC)을 이용하였고, 변수증가법을 이용하여 회귀모델을 개발하였다.

개발한 모델에서 사용한 파장대를 검증하기 않았기 때문에 선행연구에서 사용한 파장대와 비교하였다. 선행연구에서 사용한 파장대는 표 1과 같다. 본 연구에서도 원자료를 1, 2차 미분하여 주성분 스펙트럼을 분석하였으나 이는 선행연구결과와 비교하기 위한 방법이고, 실제 본 연구에서 개발할 센서에는 미분 자료를 사용할 수 없다. 그 이유는 미분자료를 활용하기 위해서는 연속된 자료가 필요하나 본 연구에서는 장치의 간소화와 제작비용 절감을 위해 대역통과 필터를 사용하기 때문이다. 따라서 실제 본 연구에서 사용될 스펙트럼 자료는 원시 스펙트럼 자료이다.

대역 통과필터를 사용하는 것으로 가정한 경우 토양유기물 함량에 민감한 파장대는, 원 자료의 경우 480, 530, 620, 700, 880, 1000, 1350, 1470, 1750, 2200 nm, 1차미분 자료의 경우

420, 520, 700, 950, 1000, 1200, 1450, 1650 nm, 2차미분 자료의 경우 430, 550, 600, 850, 900, 1100, 1300, 1500 nm로 요약할 수 있다.

표 1 토양 유기물 함량에 민감한 광 파장대

index	source spectrum(nm)	1st deriv.(nm)	2nd deriv.(nm)
I Made*	480, 747, 616, 1372, 704, 879, 1008, 1335, 529	523, 928, 526, 700, 1200, 1020, 1214, 1420, 1657, 416, 606	431, 556, 1105, 1542, 606, 1311, 1238, 849, 1639, 499, 660, 903, 1063
유관식 <sup>1998)</sup>	1736, 1868, 2168, 2212		
* : 4개 지역(일본 3, 영국 1)에서 실시된 결과			

#### 나. 상관관계 분석 및 예측 모델 개발

##### (1) 수분함량 모델

수분함량 예측 모델을 작성한 결과, 원시 스펙트럼의 결정계수는 0.615, 1차 미분 스펙트럼은 0.737, 2차 미분 스펙트럼은 0.816으로 나타났다. 결정계수가 낮은 이유는 모델에 사용한 광파장을 400 nm부터 1400 nm까지로 제한하였기 때문으로 판단된다. 그러나 본 연구에서 개발하고자 하는 센서는 야외에서 실시간으로 유기물을 측정할 수 있으면서 저렴한 가격에 보급될 수 있도록 만들 계획이기 때문에 측정파장대를 400~1400 nm까지로 제한하는 것이 타당한 것으로 판단된다. 원시자료를 이용한 모델에서 사용된 파장은 1372, 1102, 1374, 684, 638, 574 nm이었으며 개발된 회귀식은 다음과 같다.

soil moisture content =

$$26.467+6408.920A_{1372}-459.161A_{1102}-6076.708A_{1374}+964.059A_{684}-1034.398A_{638}+214.059A_{574}$$

여기서,  $A_{\lambda} = \log(1/R)$

본 모델에서 사용된 파장대는 1372, 1102, 1374, 684, 638, 574 nm이지만 대역통과필터를 이용하여 이상의 파장대를 구현하고자 하면 570, 640, 680, 1100, 1370( $\pm 20$  nm) nm의 5개 필터를 사용하면 될 것으로 판단된다. 본 모델로부터 예측한 수분함량과 실제 수분함량과의 관계는 그림 1과 같다.

##### (2) 유기물함량 모델

유기물 모델을 개발한 결과 원시 스펙트럼의 결정계수는 0.785로 예상과 달리 미분 스펙트럼의 결정계수는 높지 않았다. 유기물 모델도 수분모델에서와 마찬가지로 모델에 사용한 파장대를 400 nm부터 1400 nm까지로 제한하였다. 원시자료를 이용한 모델에서 사용된 파장은 558, 906, 1274, 964, 908, 1104 nm이었으며 개발된 회귀식은 다음과 같다.

soil organic matter =

$$2.776-5.678A_{558}-19893.067A_{906}+232.047A_{1274}-1186.028A_{964}+21122.419A_{908}-266.952A_{1104}$$

여기서,  $A_{\lambda} = \log(1/R)$

본 모델에 사용된 파장대는 558, 906, 1274, 964, 908, 1104 nm 이지만, 대역통과필터를 이용하여 이 파장대를 구현하고자 하면 560, 910, 960, 1100, 1270 nm( $\pm 10 \sim 20$  nm)의 5개 필터를 사용하면 될 것으로 판단된다.

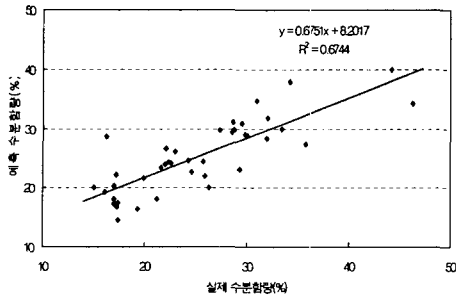


그림 1 토양 수분함량 예측 모형의 예측치와 실측치와의 관계

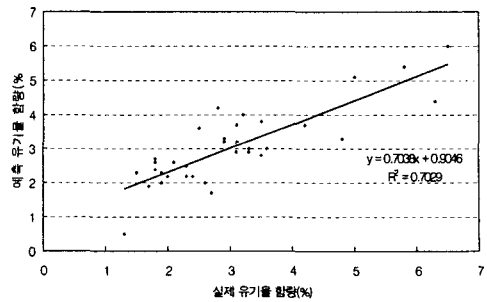


그림 2 토양 유기물함량 예측 모형의 예측치와 실측치와의 관계

### 다. 모델 검증

모델 검증을 위해 임의의 토양으로 29개의 유기물 시료를 제조하여 모델식 개발에서와 동일한 방법으로 측정하였다. 시험결과 조제한 유기물 함량과 모델에 의한 예측결과간의  $r^2$ 는 0.9225였다. 그러나, 모델 개발 당시의 토양과 모델 검증시의 토양 차이에 의해 유기물의 함량에는 약간의 차이가 있었다. 본 연구에서 개발하고자 하는 실시간 유기물 센서는 논, 밭, 하우스 등 다양한 토양에서 적용이 가능하도록 개발하고 있다. 따라서, 토양 내 유기물 함량을 예측하는 기본 모델식을 만든 후, 각 토성별로 보정식을 만들어서 모델을 보정해 주면 다양한 토양에서 실제 유기물 함량을 예측할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 시험토양 유기물 함량과 모델식에 의한 유기물 함량간의 차이를 보정하는 보정 모델식을  $y = 0.1415x - 0.0068(R^2 = 0.9319)$ 로 수립하였다. 그 결과 그림 3과 같이  $r^2$ 값은 동일하면서도 실제 유기물 함량과 예측 유기물 함량간에 차이가 없는 모델식을 개발하였다.

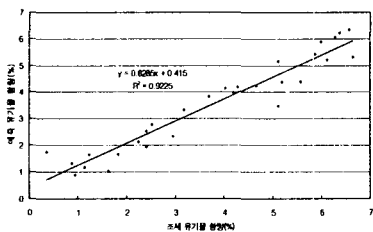


그림 3 토양 유기물함량 예측 모형의 예측치와 실측치와의 관계

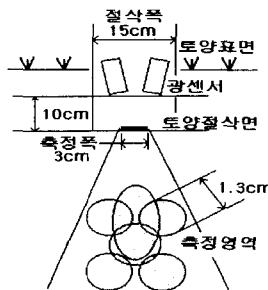


그림 4 절삭 토양면에서 측정될 영역 및 광센서 개념도

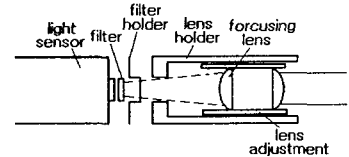


그림 5 광센서 조립순서 및 개체도

### 라. 센서 제작

#### (1) 측정센서 설계 제작

본 연구에서는 가능한 적은 부하로 지표아래 부분의 토양을 절삭하기 위해서 토양 절삭 폭을 최소화시켰다. 또한 절삭된 토양 면 중 일정면적 이상에 광이 조사되고, 조사된 면적의 중앙부분에서의 광반사를 측정하도록 설계하였다.

절삭 표면에서 반사되어 나온 광은 필터를 통과하여 광센서의 측정소자 표면에 정확하게 집중되어야 하는데, 이를 위해 초점렌즈를 사용하는 것이 편리하다. 따라서 본 연구에서는

그림 5와 같이 초점렌즈, 필터, 필터 홀더, 광센서 순으로 센서를 조합하였다.

마. 포장시험 결과

본 연구에서 개발한 장치의 성능을 검증하기 위해 포장시험을 수행하였다. 포장 시험은 논 37위치, 밭 342위치를 대상으로 수행하였다. 379위치에 대한 화학분석에 의한 유기물 함량과 본 연구에서 개발한 센서로 측정된 유기물 함량간의 관계는 그림 6과 같다.

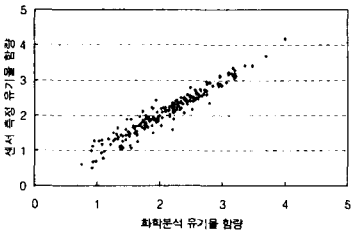


그림 6 토양 유기물함량 측정 결과

표 3 토양유기물 함량 5단계 구분 결과

측정 분석	1단계	2단계	3단계	4단계	5단계
1단계	5	1	0	0	0
2단계	3	15	4	1	0
3단계	0	5	93	9	1
4단계	0		19	151	21
5단계	0			7	44

표 2 토양유기물함량 3 단계 구분결과

측정 분석	1단계	2단계	3단계
1단계	196	11	0
2단계	15	141	6
3단계	0	2	8

표 2와 3은 유기물함량을 구간별로 구분한 결과이다. 표에서 보는 바와 같이 5단계로 구분하였을 때는 화학적 분석결과에 대한 센서 측정결과가 81%의 정확도로 구분할 수 있었으며, 3단계로 구분한 경우 91%의 정확도를 나타냈다.

4. 결론

본 연구는 토양내 유기물 함량 측정 센서를 개발하는 연구로, 외란광의 영향을 배제한 상태에서 토양 유기물 함량의 많고 적음을 몇 개의 그룹으로 구별하는 데 목적이 있다. 연구결과 토양유기물 함량을 5단계로 구분하였을 경우 화학적 분석결과에 대한 센서 측정결과가 81%의 정확도로 구분할 수 있었으며, 3단계로 구분한 경우 91%의 정확도를 나타냈다.

5. 참고문헌

1. 유관식, 박우철, 김복진, 조래광. 전자파의 표면조사에 의한 토양 유기물, 수분 및 전질소의 비파괴 측정기 개발 연구보고서(I, II, III). 1996, 1997, 1998. 농촌진흥청
2. 조성인, 배영민, 양희성, 최상현. 2001. 근적외선 반사도를 이용한 토양 유기물 함량 측정. 한국농업기계학회지. 26(5) 475 - 480.
3. Shibusawa, S. 1999a. Environment-Friendly Agriculture and Mechanization Trend in Japan. Proceedings of international Symposium on Farm Mechanization for Wnvironment-Friendly Agriculture:53-80.
4. Shinusawa, S. et al. 1999b. On-line real-time nir soil sensor. Preseedings of international conference on agricultural engineering. v-115-v-121.
5. Sudduth, Kenneth A. 1989. Near Infrared Reflectance Soil Organic Matter Sensor. Ph.D. thesis Urbana, Illinois.