

토양수분 측정방법 비교 연구

-중성자법과 TDR법을 중심으로-

Comparative Study of Soil Moisture Measurement Methods

장민원*(서울대) · 정하우(서울대) · 최진용(서울대)

Jang, Min Won · Chung, Ha Woo · Choi, Jin Yong

Abstract

Soil moisture measuring is important for irrigation scheduling of upland crops, estimation of evapotranspiration, and hydrologic modeling. Hence, the comparative study was implemented for the soil moisture measuring instruments, Neutron probe and TDR with soil sampling methods, and the result was represented.

I. 서론

생육시기별로 작물의 뿌리 성장과 수분소비형태를 조사하고, 증발산량 등을 측정하기 위해서는 연속적인 토양수분의 측정이 필수적이라 할 수 있다. 토양수분의 측정 방법에는 채토건조법, 석고 플러그 무게법, 텐션미터법, 전기저항법, 석고블럭법, 중성자법, TDR법 등 많은 방법들이 있으며, 이중 채토건조법을 제외한 수분측정 방법은 간접적으로 토양수분을 측정하는 방법들로서 기기의 종류에 따라 별도의 보정 후에 사용할 수 있다. 한편, 중성자법은 토양구조를 파괴하지 않으며 주기적인 자료를 얻을 수 있고 비교적 안정적이며 정확성이 높아 많이 사용하여 왔다. 그러나 중성자법은 표토 부근에서의 토양수분의 측정에는 부적절하므로 이를 보완하기 위해서는 다른 토양수분 측정법이 필요하다.³⁾

TDR법은 전자기파(Electromagnetic wave)를 이용한 토양수분 측정방법으로서 최근에 그 관심과 연구가 상당히 진행되고 있으나, 아직은 현장의 측정에서 나타나는 문제나 다른 토양수분 측정법과 비교하여 나타나는 특성에 대한 연구결과가 적은 실정이고 현장 운용에 있어서 측정의 신뢰도 문제가 있다.

따라서 본 연구에서는 토양수분을 중성자법과 TDR법으로 동시에 측정하고 채토건조법에 의해 얻어진 토양수분 값과 비교, 고찰하고자 한다.

II. 토양수분 측정 원리

1. 중성자법(Neutron Method)

라듐(Ra), 베릴륨(Be) 등으로부터 방사되는 빠른 중성자는 물질을 투과할 때 수소원자와 충돌하면 그 속도가 현저히 감소하게 되는데, 일반적으로 토양속에서는 대부분의 수소원자가 토양이 함유하고 있는 수분에 있으므로 토양속에서의 중성자의 감속의 양상을 측정하면 토양이 가진 수분량을 추정할 수 있게 된다. 중성자법은 토양수분을 간접적으로 얻을 수 있는 방법이기 때문에 실지 토양의 수분량과의 보정이 필요하며, 이것은 실지 측정 지점에서의 토양을 코어 샘플링하여 채토건조법으로 구한 토양수분과 중성자법에 의해 구한 값 사이에 식(1)과 같은

1998년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (1998년 10월 24일)

선형식을 구하여 이뤄진다. 이 때, 토양수분은 부피단위 백분율로 나타낸다.⁴⁾

$$Q_v = a \times (NMC / STD) - b \quad (1)$$

Q_v : The volumetric water content

a : The multiplicative calibration constant

b : The subtracted calibration constant

NMC : The neutron meter count for the time interval selected

STD : The standard count for the time interval selected

2. TDR 법(Time Domain Reflectometry Method)

TDR이란 전기신호의 전도특성을 이용하여 토양내 설치된 탐침(probe)의 전기신호 반향시간을 측정하는 기기로서 이 반향시간과 토양의 유전율상수(dielectric constant)의 관계를 이용하여 함수량을 추정한다. TDR에서 발생된 신호는 신호가 흐르는 매질의 임피던스(impedance)가 변함에 따라 신호의 반향되는 정도가 달라지는 특성이 있으며, 토양에 탐침을 꽂아 함수량이 변하면 토양내의 임피던스가 변함을 이용하여 토양함수량을 측정하게 된다. TDR 법에 의한 토양함수량 측정은 측정하는 탐침 및 케이블의 임피던스가 중요하며, 이 임피던스는 탐침의 직경 및 간격에 따라 민감하게 변한다. TDR법도 중성자법과 마찬가지로 간접적인 토양수분 측정법이므로 보정이 필요하게 되는데, 중성자법과 동일하게 실시 측정 지점에서의 토양에서의 수분을 채토건조법으로 구하고 TDR법으로 얻어진 값과의 선형식을 구한다.^{2) 5)}

3. 채토건조법(Gravimetric method)

토양수분을 직접 구할 수 있는 방법으로서, 일정 부피(100cm³)를 가진 코어(core)로 대상 토양을 샘플링하고 건조전후의 무게 차를 구하여 얻는다. 샘플링한 토양의 건조전 무게를 재고 104~110℃ 항온건조기에서 24시간 건조시킨 후의 무게를 재어 그 차를 구하면 부피단위 백분율 토양수분값을 얻을 수 있다. 토양수분을 직접 구할 수 있어 참값에 매우 가까운 값을 얻을 수 있는 것으로 알려져 있으나, 샘플링과정에서 토양을 교란시키고 시간과 노동이 많이 들어 현장 적용이 어렵기 때문에, 주로 간접적으로 토양수분을 구하는 방법들(중성자법, TDR법 등)을 보정하기 위한 수단으로 이용된다.

III. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

본 실험은 수원시에 위치한 서울대학교 농업생명과학대학내의 사양토 고추포장에서 중성자법과 TDR법으로 실시하였다. Fig.1과 같이 모두 8개의 처리구를 만들고 각 처리구별로 다시 토심에 따라 4개의 zone으로 나뉘었으며, 토양면에서 깊이 15cm까지를 surface zone, 15~30cm를 zone1, 30~45cm를 zone2, 45~60cm를 zone3로 구분하여 매일 4~6시 사이에 토양수분을 측정하였다.

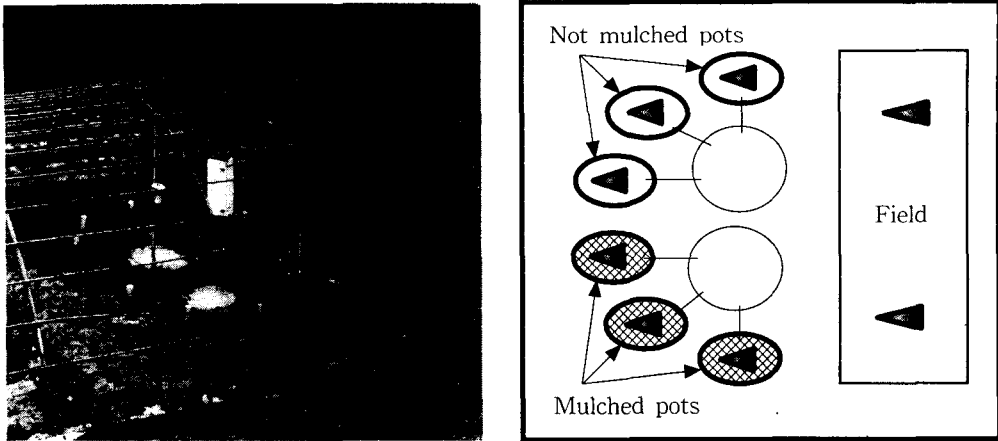


Fig.1 Photo and Layout of Experimental Field.

2. 측정방법

가. 중성자법

먼저 알루미늄판에 중성자측정기를 올려놓고 STD를 구한 후, 8개의 처리구 각각의 중앙에 깊이 60cm으로 관입된 알루미늄 튜브의 zone1, zone2, zone3에 중성자봉을 삽입하고 16초 간격으로 3번씩 측정하였다.(Fig.2참고) 중성자 토양수분 측정기에 의해 구하여진 값을 보정하기 위하여 각 처리구의 zone1에서 앞서와 동일하게 3번 측정하고 각각에 대해 2개의 토양을 샘플링하였다. 본 측정에 사용된 중성자 수분 측정기는 Boart Longyear사의 Hydroprobe 503모델이다.

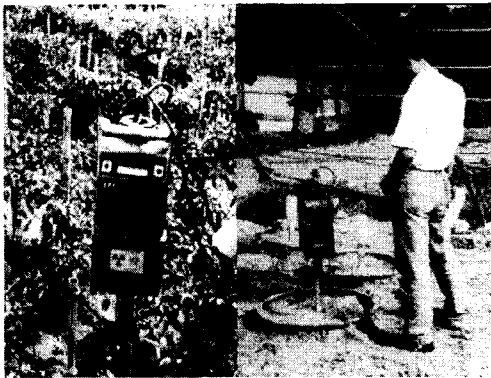


Fig.2 Soil moisture measuring using Neutron Probe.



Fig.3 Soil moisture measuring using TDR.

나. TDR법

TDR법은 각 처리구의 surface zone에 대해서만 적용시켰으며, 알루미늄 튜브 둘레에 로드블럭(rods block)을 이용하여 홀(hole)을 만든 다음 탐침을 관입시켜 수치를 읽고 반대편에서 이를 반복하여 모두 2개의 데이터를 얻었다. 중성자법과의 비교를 위한 보정을 위해서 각 처리구 zone1의 토양수분을 TDR로 2회 측정하고 각 측정점에서 토양을 하나씩 샘플링하여 모두 32개의 데이터를 부피단위 백분율로 얻었다. 사용된 TDR은 독일 IMKO사의 TRIME-FM모델을

사용하였으며, 사용된 센서는 P3모델로 세 개의 탐침으로 되어 있다.(Fig.3참고)

다. 채토건조법

중성자법과 TDR법으로 얻어진 값을 보정하기 위해서 각각의 측정 후에 샘플링된 토양은 코어와 함께 무게를 재고 104~110℃ 항온건조기에서 24시간 동안 완전 건조시킨 후 다시 무게를 재어 건조전후의 무게의 차를 100cm³ 부피에 대해 백분율로 나타내었다.

IV. 실험자료의 보정

1. 중성자법

중성자법은 중성자붕을 중심으로 동심원상의 유효구역을 가지므로 이를 보정하기 위해서는 이 구역을 대표할 수 있는 토양수분 평균값이 필요하다. 따라서, 채토건조법으로 구하여진 토양수분을 각 처리구별로 모두 16개의 평균값을 구해 보정을 하였고, 이를 도시하면 Fig.4와 같으며 결정계수 R²이 0.80인 선형식 식(2)를 얻을 수 있었다.

$$\text{Soil Moisture (Vol. \%)} = 24.998 \times \text{Ratio} - 11.261 \quad (2)$$

2. TDR법

본 실험에 사용된 TDR이 나타내는 부피단위 백분율은 토양수분은 표준사를 기준으로 맞춰진 것이므로 현장 측정시에는 중성자법과 같이 보정을 필요로 한다. 모두 30개의 TDR 측정값과 각 측정지점에서 샘플링한 토양수분값을 가지고 보정을 하였고, 결정계수 R²이 0.80인 선형식 식(3)을 얻었다. TDR 측정값을 횡축으로, 채토건조법에 의해 구하여진 토양수분을 종축으로 하여 플롯(plot)하면 Fig.5와 같다.

$$\text{Soil Moisture (Vol. \%)} = 0.780 \times \text{TDR_value (Vol. \%)} + 10.733 \quad (3)$$

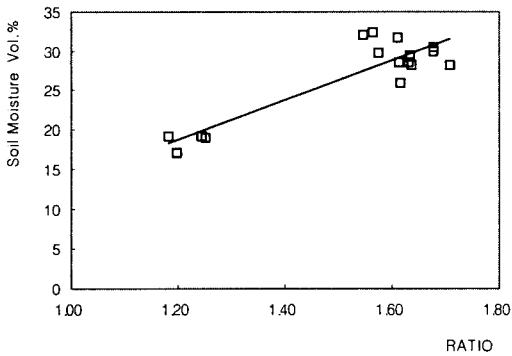


Fig.4 Neutron Probe Calibration Curve.

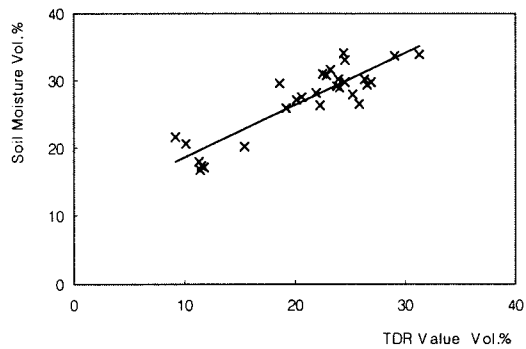


Fig.5 TDR Calibration Curve.

V. 결과 및 고찰

보정된 각 토양수분 값을 샘플링된 토양수분을 횡축으로 하여 도시하면 Fig.6과 같다. 그림에서 보듯이 보정된 토양수분은 모든 범위에서 샘플링한 토양수분과 같은 값을 나타내는 것은 아니었다. 약 20~30% 구간에선 거의 같으나 그 구간을 벗어나면 샘플링한 토양수분에 비하여

낮은 토양수분값을 나타내었다. 또 샘플링한 토양수분과 보정된 각 토양수분 사이의 선형회귀식에 대한 오차분석을 실시한 결과, Fig.7과 같이 나타났으며 이로부터 두 방법 모두 약 20~30%에서 상대적으로 가장 신뢰할 만한 토양수분값을 얻을 수 있고 그 영역을 벗어나 20%보다 작거나 30%보다 높은 함수량을 갖는 토양에서의 측정에서 정확한 토양수분을 얻기 위해서는 측정방법이나 보정 과정에서 적절한 고려가 필요함을 알 수 있었다. 그리고, 중성자법이

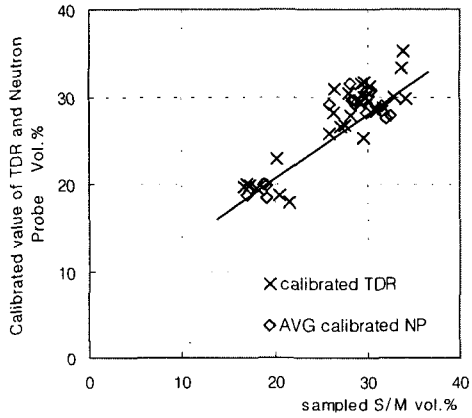


Fig.6 Relation between sampled S/M and calibrated S/M of measurements using TDR and Neutron methods.

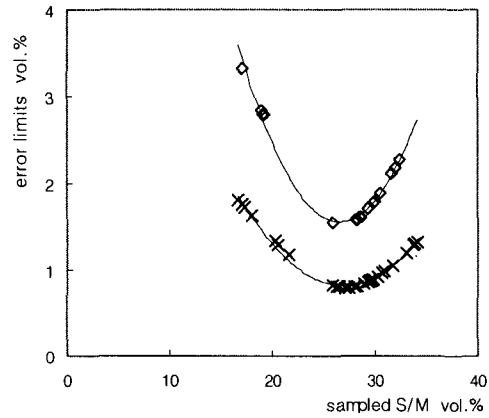


Fig.7 Error Range of TDR and Neutron methods.

TDR법보다 넓은 신뢰구간을 갖는 것은 각 측정기구가 갖는 유효구역의 대소와 관계있는 것으로 보이는데, 중성자법은 통상 반경 30cm에 대한 평균값을 구하는 것이고 TDR은 약 2cm 반경에 영향을 받기 때문에 이러한 차이가 발생한 것이라 판단된다.²⁾ 따라서, 포장을 대표할 수 있는 토양수분을 얻기 위해서는 각 측정 방법별로 적절한 측정횟수와 측정위치, 간격의 결정을 다르게 하여야 할 필요가 있다.

보정한 자료를 가지고 포장에 실제 적용하여 각 zone별로 토양수분의 변동을 시계열로 나타내면 Fig.8과 Fig.9와 같다.

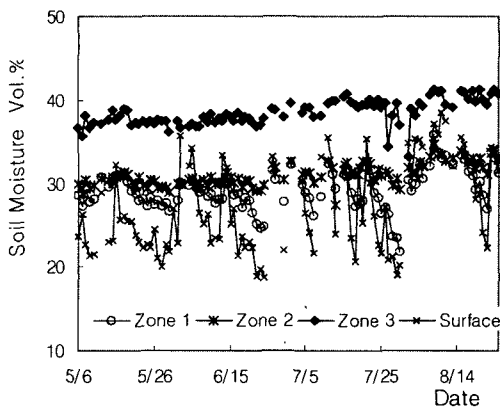


Fig.8 Soil Moisture at mulched pots.

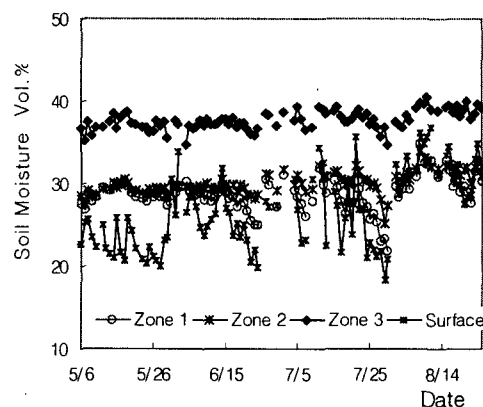


Fig.9 Soil Moisture at not-mulched pots.

V. 결론 및 연구과제

중성자의 감속 양상을 이용한 중성자법과 전자기파를 이용한 TDR법을 이용하여 사양토에서의 토양수분을 측정하는데 있어서, 채토건조법에 의한 토양수분 자료를 바탕으로 각각의 결과를 보정하여 실제 토양수분과 비교한 결과, 중성자법과 TDR법이 모두 약 20~30%의 토양수분에서 채토건조법으로 얻어진 토양수분과 매우 근사하였고 오차분석의 결과에서도 이를 증명할 수 있었으며, 각 측정방법별 측정 가능한 토양의 영역의 차이에 의해 TDR법이 중성자법에 비하여 보다 신뢰성 있는 값을 제시함을 알 수 있었다.

TDR법과 중성자법을 현장에 적용하기 위해서는 본 연구의 사양토 외에 다른 종류의 토양에서의 TDR 및 중성자법의 토양수분 측정 특성을 살펴야 할 것이며, 현장 측정에 있어서의 적절한 측정방법(횡수, 측정간격 등) 등에 대한 구체적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 박상현, 1990, 배추 근근역의 토양수분 수지 및 최적 관개모형 개발, 서울대학교 박사학위 논문
2. 박재현 외 3명, TDR(Time Domain Reflectometer)을 이용한 함수량의 측정,
3. 엄기철 외 2, 1988, 토양수분 함량 측정방법별 오차분석에 의한 비교, 한국토양비료학회지 vol.21(4), p.367-372
4. 임창수, 1996, 에너지와 물수지 연계방법과 TDR로부터 얻어진 매일 토양함수량의 비교, 한국수자원학회지 vol.29(4), p.119-129
5. 정상욱, 1996, TDR을 이용한 토양함수량과 토양염도의 측정 -원리 및 적용-, 한국농공학회지 vol.38(4), p.53-62
6. 정영신, 1989, 콩의 뿌리 성장과 생육 시기별 토양 수분 소비 형태에 관한 연구, 서울대학교 석사학위 논문
7. 정하우 외 5, 1989, 발작물 소비수량 정립에 관한 연구, 농업기술연구소, 농업진흥공사
8. Kim,D.J 외 3, 1997, Field Study of Solute Transport using Time Domain Reflectometry(TDR)
9. Hydroprobe503 Manual, TRIME-FM Manual