

전자기 유도측정방법을 이용한 토양수분의 측정

○강창용¹⁾, 정성원²⁾, 김상현³⁾

1. 서론

토양 층을 통해 유입, 유출되는 수분의 이동을 정확히 기술하는 것은 수문이나 환경시스템에 있어서 상당한 중요성을 지닌다. 토양 내의 수분은 지표면을 통한 수분의 유입과 지표에서의 증발산량, 뿌리의 흡수, 재 분포, 그리고 배수 등에 의한 수분의 유출을 지배하는 여러 요인들에 의해서 결정된다. 수문순환에 있어서 토양수분의 변화에 영향을 끼치는 요인들은 강우량, 토양의 공간적 이질성, 토양 입자분포, 표면의 거칠기, 침투 율이나 지표유출, 그리고 증발산량 등 상당히 다양하며 복잡한 상관관계를 지닌다. 지하수원의 효율적인 관리나 유역 내 홍수위험성 예측등의 목적 외에도 수문성분의 정확한 해석을 위해서 토양내 수분량의 정성적, 정량적 분석은 중요한 과제이며, 이러한 분석을 위한 효율적인 측정방법의 개발 또한 시급히 해결되어야 할 분야이다.

토양수분 함량을 측정하는 방법은 크게 직접적 방법과 간접적 방법으로 나뉜다. 직접적 방법은 토양 샘플의 강열건조 전, 후의 질량차이를 비교하여 분석하는 방법(Oven-drying method)이며, 간접적 방법에는 Gamma Radiation attenuation을 분석하여 측정하는 neutron Probe 분석, 매질의 유전율을 이용하는 TDR분석, 그리고 토양의 전기전도도를 이용하여 측정하는 전자기유도 측정 방법 등이 있다. Oven-drying 분석이나 TDR을 이용하는 방법은 측정 후에 토양의 물리적인 구조가 파괴된다는 단점이 있고, Neutron Probe를 이용하는 방법은 방사능을 이용함으로써 토양에 화학적 변화를 야기할 수 있다는 단점이 있다. 반면 전자기 유도측정 방법은 지표면과의 직접적인 접촉이 없어서 토양의 구조에 물리적, 화학적 손상을 주지 않으면서 보다 신속한 측정을 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 전자기 유도방법을 이용한 토양수분의 측정가능성을 제시해 보고자 한다.

2. 본론

2.1 전자기 유도

전자기 유도 측정법에서 전류는 유도 과정을 통하여 토양 층으로 들어가게 된다. 이 방법은 전극이 별도로 필요치 않으므로 측정구역에서 연속적인 데이터의 획득이 가능하다. 유도 전자기 기술은 송신 코일과 수신코일을 이용하게 된다. 송신 코일(Transmitter coil)이 활성화 되면 원형의 전류가 토양 층 내에서 유도된다. 이 장치는 이러한 유도된 맴들이 전류의 양이 토양의 전기 전도도 값에 직접적으로 비례하게끔 제작되었다. 각각의 맴들이 전류는 차례대로 루프 내에 흐르는 전류에 비례하는 자기장을 형성하게되며(그림 1), 이러한 각각의 루프에서 유도된 자기장이 수신코일(Receiver coil)에 의해 측정되고 겹보기 토양 전기 전도도와 선형적인 관계를 가지게 되는 결과를 형성하게 된다.

이론적으로 자기 투과도와 토양의 유전상수는 측정에 영향을 미친다. 그러나 이러한 영향은 그다지 크지 않다고 알려져 있으며(de.jong, 1979) 측정되는 토양 층의 깊이는 송신코일에서의 빈도수(frequency)에 비례하게 된다.

1) 부산대학교 환경공학과 석사과정
2) 한국건설기술연구원 수자원환경부 선임연구원
3) 정회원, 부산대학교 환경공학과 조교수

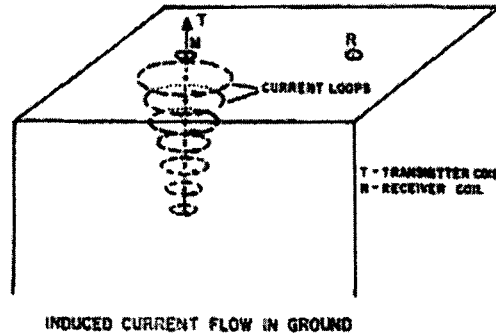


그림 1. 전자기유도 측정 장비의 측정 원리

2.2 전자기 유도 측정 장비

본 연구에 쓰인 GEM-300은 휴대가 편리하고, 디지털 방식이며, 다중 주파수 범위를 가지고 있는 전자기 유도 측정 장비이다(그림 2). 이 장비는 길이가 1.88m이며, 무게가 7.25kg이며 제거와 설치가 용이하고 재충전이 가능한 전원 공급 장치를 사용한다. 디지털 방식으로 작동되며 현장에서의 측정 자료 값을 저장했다가 시리얼링크를 통해서 컴퓨터에 저장된다. 기존의 유사한 측정 장비와 본 장비의 차이점은 GEM-300은 최대 16개의 주파수대에 대해서 동시에 전기 전도도 값을 얻을 수 있다는 점이다.



그림 2. GEM-300을 통한 토양의 전기전도도 측정 장면

GEM-300을 이용하여 얻어지는 전기 전도도 값은 다음과 같은 식에 의해 도출되었다.

$$\text{Conductivity} = 360 * \text{PPM}(Q) / \text{Freq} \quad (1)$$

Conductivity의 단위는 mS/m이며 PPM(Q)은 quadrature phase reading값이며, Freq는 단위가 Hz이며 측정하기 전에 지정해줄 수 있다.

2.3 측정방법 및 결과

전자기 유도 측정장비를 이용한 토양 내 수분함량의 효율적인 측정을 위하여 건설기술연구원에서 지정한 시험구역인 설마천 유역 내에 위치한 범륜사 주변의 사면을 한 곳 선정하여, 가로, 세로 길이가 각각 8 m인 격자를 설치하여서 2 m간격으로 토양내의 전기 전도도를 측정하였다. 측정에 사용한 장비의 길이가 1.9 m이므로 한 면에 대해서 5회씩 측정하여 격자 내에서 도합 25회에 걸쳐 측정을 행

하였다. EM장비는 일반적으로 지면에서 떨어지면 떨어질수록 본래의 정보가 점점 소실된다고 알려져 있으므로(Rhoades,1980), 본 연구에서는 지면에다 GEM-300을 놓고 측정을 행하였다. 전자기 유도 측정장비를 이용하여 측정되어진 토양수분 값을 검증하기 위하여 TDR장비인 Mini-Trase의 Wave-Guide를 EM측정이 이루어졌던 25지점에 설치하여, 여기서 얻어진 토양수분의 측정값과 비교를 하였다. 이번 연구에서는 길이가 20 cm인 탐침을 사용하였으며, 전기전도도 값은 GEM-300을 이용하여 19,950KHz에서 측정을 하여서 지표하 1 m정도까지의 bulk 전기 전도도 값을 측정하였다.

그림 3은 인공강우 전후의 토양의 전기전도도 값의 변화를 나타낸 그림으로써, GEM-300을 통한 측정이 토양 내 수분의 변화와 관련된 전기전도도 값의 변화를 효과적으로 추적할 수 있음을 보여준다

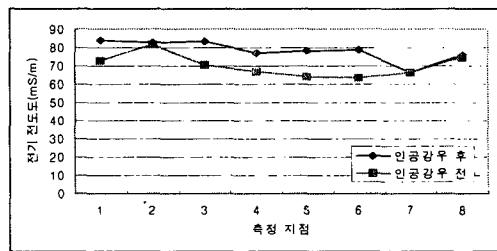
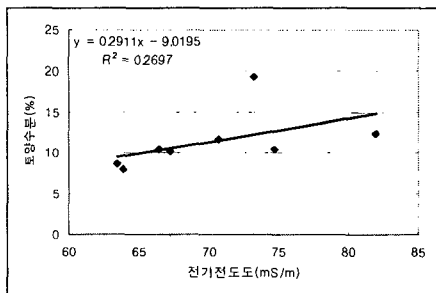
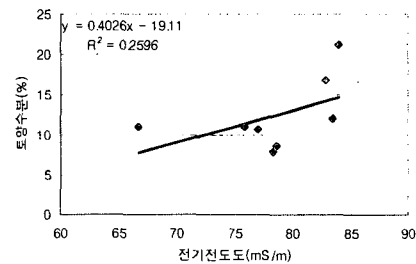


그림3. 인공강우 전후의 전기전도도값의 변화

그림 4는 TDR을 통해 측정된 수분 값과 GEM-300을 이용한 전기 전도도 값의 인공강우 전후의 상관관계를 나타낸 그림이다. 토양수분과 전기 전도도 값의 상관도가 낮은 이유는 GEM-300이 bulk soil의 전기 전도도를 측정하는데 비해 토양수분은 TDR을 통한 점 측정 자료이므로 둘 사이의 상관관계를 맺는데 있어서 오차를 야기할 수 있는 다른 변수들이 많이 존재하기 때문이다. 하지만 (a) 보다는 (b)의 그림에서의 자료값들이 전반적으로 우측 상부로 이동하는 경향을 볼 수 있는데 이는 그림 3과 더불어 토양수분의 증가는 확실히 전기전도도의 증가에 영향을 준다고 해석할 수 있다.



(a)인공강우 전



(b)인공강우후

그림 4. 전기전도도와 토양수분의 상관관계

그림 5는 인공강우 전후의 토양수분 함량과 전기전도도 값의 변화를 측정지점별로 비교한 게 아니라 8*8m²의 구역 중 인공강우를 뿌린 상부의 8*4m²의 구역에 대하여 강우전후의 두 값의 비교를 8*2m²의 두 구역으로 나눈 후 면적 평균값들의 상관도를 나타낸 결과이다. 측정지점별로 비교했을 때 야기되었던 TDR과 GEM-300간의 낮은 상관관계가 면적 평균을 이용하여 비교함으로써 상당부분 개선됨을 알 수 있다. 따라서 전자기 유도 측정 방법을 통한 토양수분함량의 측정 시에는 1회 측정에

의한 자료값이 아니라 여러 지점의 측정값들의 평균등을 이용한 통계적 분석을 통한 자료의 재 해석이 요구된다고 판단된다.

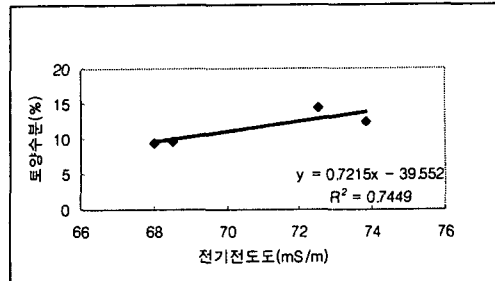


그림 5. 토양수분값과 전기전도도값의 면적평균비

3. 결론

본 연구는 전자기유도 측정방법을 이용하여 토양수분함량의 측정을 시도한 것으로서, 본 연구로서 도출 할 수 있는 결론은 다음과 같다. 첫째, 전자기 유도 측정방법은 토양내의 수분의 변화에 따른 전기전도도 값의 변화를 추적할 수 있다. 둘째, 동일 지점에서 토양수분함량과 전기 전도도 값의 비교는 국부적인 비교보다는 전역적인 크기에 대한 면적 평균값을 통해 결과를 도출하는 것이 오차를 최소화 하는 결과를 도출한다. 셋째, 토양수분 증가에 따른 전기 전도도 증가라는 경향은 제시가 되었으나 그에 따른 일관성을 정량화하기 위해서는 보다 많은 자료습득과 추가적인 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술 개발 사업단의 연구비지원(과제번호 2-1-1, 2-2-1)에 의해 수행되었습니다.

4. 참고문헌

1. J. D. Rhoades and D. L. Corwon(1980). "Determining soil electrical conductivity-depth relations using an inductive electromagnetic soil conductivity meter." Soil Sci .Soc.Am. J Vol. 45, pp. 255-260.
2. R. G. Kachanoski, E. G Gregorich and I. J. Van Wesenbeeck(1988). "Estimating spatial variations of soil water content using noncontacting electromagnetic inductive methods." Can. J. Soil Sci. Vol. 68, pp. 715-722.
3. Keith R. Sheets, Jan M. H. Hendrickx(1995). "Noninvasive soil water content measurement using electromagnetic induction." Water Resour. Res Vol. 31, pp. 2401-2409.
4. K. A. Sudduth , S. T. Drummond, N.R.Kitchen(2001). "Accuracy issues in electromagnetic induction sensing of soil electrical conductivity for precision agriculture." Computer &Electron. Agr Vol. 31, pp. 239-264.
5. D. L. Corwon and J. D. Rhoades(1982). "An improved technique for determining soil electrical conductivity-depth relations from above-ground electromagnetic measurements ." Soil Sci .Soc.Am. J Vol. 46, pp. 517-520.
6. E. D. Jong and A. K. Ballantyne and D. R. Cameron(1979). "Measurement of apparent electrical conductivity of soils by an electromagnetic induction probe to aid salinity surveys ." Soil Sci .Soc.Am. J Vol. 43, pp. 810-812.