

# 염류집적지역의 3차원 염류분포 측정

## Measurement of 3D Salt Distribution on Saline Land

홍영기\* J. Tatsuno\*\* K. Tajima\*\* K. Tamaki\*\* 이성현\* 김경원\* 윤남규\*  
 Y. K. Hong\* J. Tatsuno\* K. Tajima\*\* K. Tamaki\*\* S. H. Lee\* K. Y. Kim\* N.G. Yoon\*

### 1. 서론

토양의 염류를 측정하는 일반적인 방법은 대상지역에서 토양 샘플을 채취하여 실험실에서 필요한 처리를 한 후 전기전도도를 측정하는 것이다. 그러나 이러한 방법은 지하수위가 높은 지역에서는 샘플을 채취하는 것이 곤란하여 지하수위 아랫부분 토양의 염류축적 상태를 측정하는 것이 어렵다. 그래서 Hong 등(2002, 2006)은 지하수위가 높은 지역에서도 지하수위 아래 포화토양의 샘플 채취를 하지 않고 깊이방향의 전기전도도를 측정할 수 있는 연직 전기전도도 센서를 개발했다. 그리고 염류이동이 일어나는 포화토양을 인위적으로 만들어 개발한 연직 전기전도도 센서로 토양의 염류축적 상태를 시간경과와 함께 측정 분석하였다. 본 연구는 광범위한 지역에서 시간 경과에 따른 토양 속 염류축적 상태를 측정하기 위한 방법을 확립하기 위한 것이다. 따라서 본 논문에서는 대상지역의 토양 속 염류축적 상황을 쉽게 파악할 수 있는 방법을 개발하고, 현장시험을 통하여 실제 현장에서의 적용 가능성을 검토했다.

### 2. 재료 및 방법

#### 가. 시험에 사용한 연직 전기전도도 센서

깊이 방향의 전기전도도를 측정할 수 있는 연직 전기전도도 센서를 그림 1과 같이 개발했다. 이 센서는 수평방향에 전극을 나열한 Edlefsen의 방법(Edlefsen 등, 1941)을 응용하여, 전극을 동일 축 상에 연직방향으로 배열하여 깊이 방향의 측정이 가능하도록 했다. Edlefsen의 방법은 전극과 토양간의 접촉저항을 계산식으로 제거하는 것이 가능하기 때문에 높은 측정 정밀도를 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다. 센서의 구조는 전체 길이가 1,160mm로 약 1m 깊이까지 측정이 가능하다. 센서의 축 길이를 연장하면 측정 깊이를 깊게 할 수 있다. 길이 7mm의 전극을 7mm 간격으로 설치하였으며, 전극과 전극 사이는 절연체인 에폭시 수지로 도포했다. 그리고 전기전도도 값의 온도 보정을 위해 센서의 끝부분에 측정 정밀도가 높은 서미스터(Thermistor)를 설치했다.

#### 나. 염류집적지에서의 현장시험

넓은 범위에 걸쳐 염류집적이 발생하고 있는 지역에서 개발한 연직 전기전도도 센서와 GPS(Global Positioning System)의 위치정보를 가지고 토양속의 염류 축적을 3차원적으로 파악 할 수 있는 가능성을 검토하기 위해서 현지시험을 실시했다.

시험 대상지역으로 태국 동북부의 콩캔(Khon Kaen)시 농툰몬(Nong Thung Mon)마을의 염류피해가 발생하고 있는 200m×250m의 약 5ha 넓이의 시험구를 선정했다. 그림 2는 GPS를 이용해서 측정한 데이터를 GIS소프트웨어(Pathfinder Officee, Trimble Co. Ltd., USA)로 작

\* 농업공학연구소 생산기반공학과 농업시설공학연구소

\*\* 동경농업대학 지역환경과학부 생산환경공학과

성한 시험구의 배치를 나타낸 것이다. 시험구 주변에는 염류 피해로 인해 식생이 없는 토지, 논, 유칼리(*Eucalyptus camaldulensis*) 식림지, 초지, 시험 실시기간이 우기인 관계로 자연적으로 발생한 물웅덩이가 있다. 이 시험구의 지형은 주변에서 물웅덩이 쪽으로 약간 경사를 보이고 있고 GPS 측위에 의하면 약 0.5%의 구배가 있는 것으로 나타났다.

시험을 위해 먼저 DGPS(Differential GPS)의 고정국(N1800699.298, E249776.555, GeoExplorer3, Trimble Co. Ltd., USA)을 설치했다. 그리고 조종자는 개발한 센서와 이동국 GPS(GeoXM, Trimble Co. Ltd., USA)를 가지고 임의의 측정 지점으로 이동하면서 위치좌표를 측정 후 센서로 토양표면에서부터 10cm 깊이로 1m까지 전기전도도를 측정했다. 개발한 연직 전기전도도 센서에 의한 측정값을 평가하기 위해서 측정 지점의 근방에서 오거를 이용하여 토양샘플을 채취했다. 토양 샘플도 연직 전기전도도 센서와 동일하게 토양표면에서부터 10cm 깊이로 1m 깊이까지 채취했으며, 샘플채취 후 지하수위를 측정했다. 채취한 토양샘플은 실험실에서 토양용액을 적출해서 EC측정기(B-173, HORIBA Co. Ltd., Japan)로 전기전도도를 측정했다. 측정지점은 22개로 우기중인 2003년 8월에 수일간 실시했다.

센서의 출력값에서 전기전도도의 교정계수는 기지의 염농도의 염화나트륨수용액으로 포화시킨 토양을 센서와 EC측정기로 측정해서 식(1)을 얻었다.

$$EC_{s25} = \frac{c_s}{R_{bc25}} \dots\dots\dots (1)$$

$EC_{s25}$ ,  $R_{bc25}$ 는 각각 25℃로 온도보정한 EC측정기 측정값( $dSm^{-1}$ ), 센서의 출력값( $\Omega$ )다.  $c_s$ 는 교정계수이고, 현지시험 대상지역의 시험구 토양과 토성이 비슷한 토요우라 표준사(豊浦標準砂)를 가지고 교정한 결과로부터 40.17을 얻었다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 2의 22개 측정지점 중 한 예로서, S5와 S20 지점에 대해 개발한 연직 전기전도도 센서로 측정한 전기전도도(이후 ECs로 정의함)와 토양용액의 전기전도도(이후 ECe로 정의함)의 결과를 그림 3에 나타냈다. ▲은 ECs, □은 ECe이고, 지하수위를 그래프 중에 함께 표기하였다. S5 지점은 식생이 있고 논과 접해 있는 초지로, 지하수위가 33cm이었다. ECs와 ECe 모두 0dS/m에 가까운 전기전도도 값을 보였으며, 양자간에 동일한 결과를 얻었다. 그리고 다른 측정지점과 비교할 때 전기전도도 값이 1/20로 매우 낮아 염류축적이 발생하지 않았음을 알 수 있었다. S20 지점은 물웅덩이 주위로 식생이 전혀 없었으며 지하수위는 39cm이

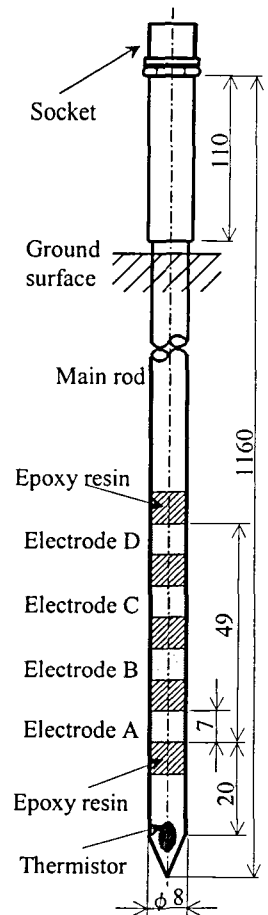


Fig.1 Drawing of the vertically-employed electrical conductivity probe. Measurements are given in millimeters(mm).

었다. ECs와 ECe의 결과 모두 높은 전기전도도를 나타내었으며 두 값의 전기전도도 값은 비교적 유사한 경향을 나타내었다. 한편 깊이 방향의 전기전도도 값을 측정 한 결과 표층으로 갈수록 전기전도도가 높아지고 있어, 토양 표면에 염류가 축적되어 있는 것으로 판단되었다.

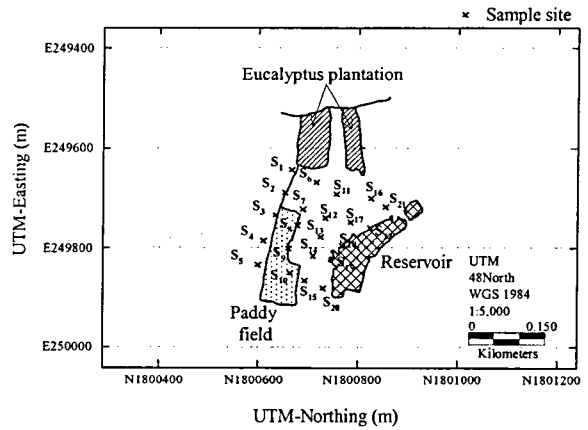


Fig.2. Map Showing the location of the sample sites plotted using GIS software.

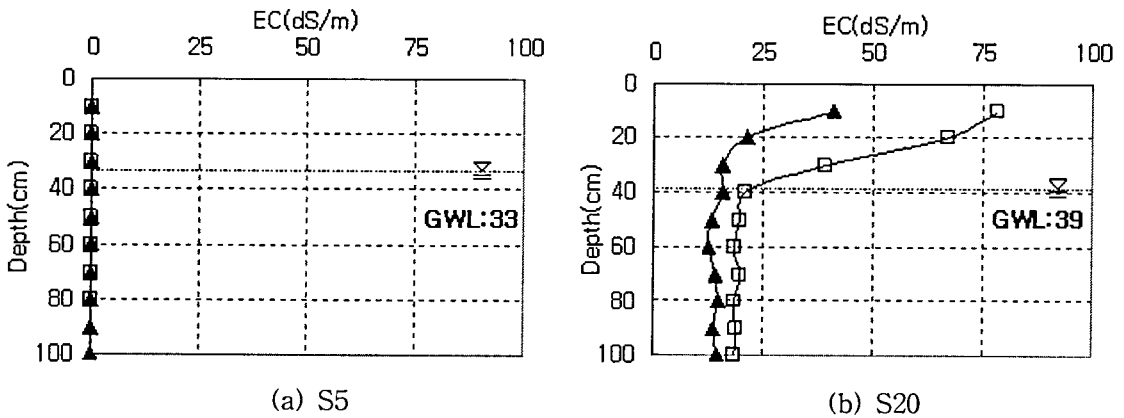
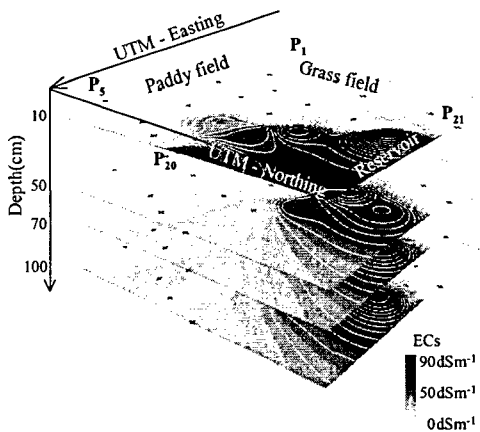
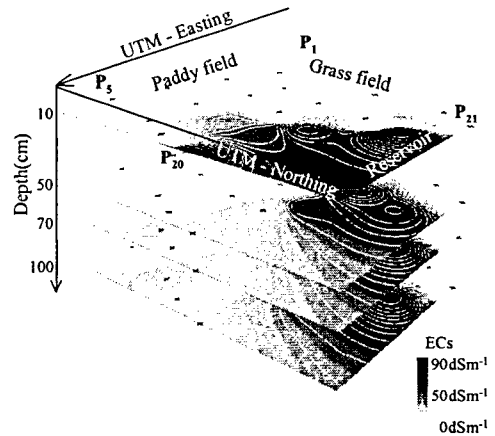


Fig.3. Electrical conductivity measured using a probe (ECs) and electrical conductivity measurements of the soil solution (ECe) in S5 and S20. Data points shown as ▲ and □ indicate ECs and ECe, respectively.

현장시험에서 얻은 전기전도도 값을 가지고 시험구의 염류축적 상태를 쉽게 파악하기 위해 3차원 지도를 작성했다. 전기전도도 값에 대한 3차원 지도는 개발한 연직 전기전도도 센서로 측정 한 깊이방향의 전기전도도 값과, GPS의 2차원 위치정보를 결합하여 작성했다. 그림 4(a)는 개발한 연직 전기전도도 센서로 측정 한 값에 대한 지도이고, 그림 4(b)는 채취한 토양 샘플을 실험실에서 분석한 전기전도도 값에 대한 지도이다(ArcView 3.2, ESRI Co LTd, USA). 토양 속의 염류집적 상태를 비교하기 위해서 깊이별로 2차원 지도를 작성해 겹치는 방법을 선택했다. 전기전도도 분포는  $90\text{dSm}^{-1}$ 에서  $0\text{dSm}^{-1}$ 까지 표시했다. 그림 4(a)와 그림4(b)를 비교하면 서로 비슷한 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 시험 결과 지하수위 아랫부분의 전기전도도 값의 측정이 가능한 것으로 판단되었고, 본 시험에서와 같이 3차원 가시화 방법을 사용하므로써 대상지역의 염류집적 상태를 쉽게 파악할 수 있을 것으로 판단된다.



(a) With ECs data



(b) With ECe data

Fig.4. Comparison of salt distribution maps for electrical conductivity determined using the probe and from soil solutions.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 넓은 지역을 대상으로 토양의 염류집적 상태를 시간 경과에 따라 3차원으로 파악할 수 있는 방법을 제시하였다. 이 방법을 이용해서 태국 동북부의 염류집적이 발생하고 있는 지역에서 현장시험을 하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 개발한 연직 전기전도도 센서는 지하수위 아랫부분 토양의 전기전도도 측정이 가능하고, 채취한 토양샘플의 전기전도도와 비교할 때 신뢰성이 높은 결과를 얻었다.
- (2) 시험지역의 3차원 전기전도도 지도를 작성하여 상호 비교한 결과 염류축적 상태를 가시적으로 확인할 수 있었다.
- (3) 본 연구에서와 같이 특정지역의 3차원 염류 거동을 시간흐름과 같이 파악하면 염류축적 방지책이나 염류토양 회복방법의 평가, 염류집적 메커니즘의 해석 등에 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 5. 참고문헌

1. Edlefsen, N.E., Aderson, B.G. 1941. The Four-Electrode Resistance Method for measuring Soil Moisture Content under Field Conditions. Soil Sci., 51:367-375
2. Hong, Y.K., Tatsuno, J., Tajima, K., Sekiyama, T., Tamaki, K. 2002. Development of an Electric Conductivity Sensor for Saturated-saline soil and Application to Field Measurement. Bull. Soc. Sea Water Sci. Jpn., 56(5):393-401
3. Hong, Y., Tatsuno, J., Nakamura, T., Tajima, K., Tamaki, K. 2006. Performance of a Vertically-employed Electrical Conductivity Probe - Measurement of Electrical Conductivity Dynamics in Saturated Soils-, J. SHITA, 18(1):28-34