

센서를 이용한 수도작 포장의 토양특성 측정

Sensor-based Measurement of Soil Properties in a Paddy Field

정선옥* 황현섭 성제훈* 이충근* 정인규*
정희원 정희원 정희원 정희원

S. O. Chung H. S. Hwang J. H. Sung C. K. Lee I. G. Jung

1. 서론

토양을 통해 수분과 양분이 이동하고, 작물이 이용할 수 있는 수분과 양분의 양이 결정된다. 친환경 저투입 정밀농업을 실현하기 위해서 포장내 토양특성 변이를 측정하고 이용하는 것이 필수적이다. 관행적인 토양특성분석은 인력으로 샘플을 채취하고 실험실에서 분석하는 방법으로 이루어져 정밀농업을 위해 필요한 양의 데이터를 얻기에는 시간, 비용, 노동력이 많이 요구된다. 토양특성을 센서로 측정하는 동시에 의사결정을 내려 변량 처방하는 형태가 이상적이다. 정밀농업용 토양센서는 전기전도도(ECa) 센서와 토양강도센서(예, 원추관입기)가 상용화 되었을 뿐, 다른 특성을 측정하는 센서는 아직 연구·개발 단계이다. 우리나라에서도 이러한 센서를 농경지에 적용하여 데이터를 취득하고 샘플수량 또는 실험실에서 분석된 여러 토양특성 데이터와 상호관계를 연구하는 단계이다(Chung et al., 2000). 수확량 모니터링, 작물생육상태 측정센서, 변량살포시스템에 대한 연구는 상당한 진척을 보이고 있으나 토양특성의 실시간 측정은 큰 진척을 보이지 않고 있다. 정밀농업용 토양특성 센서관련 연구는 논 포장의 전기전도도 계측(박우풍 등, 2002), 유기물 센서개발과 질소시비량 지도 작성(조성인 등, 2002), 정밀경운을 위한 원추지도 작성(정병학 등, 2004)이 보고되었다.

본 연구에서는 상용화된 센서들로 측정된 수도작 토양특성을 분석하였다. 연구목적은 1) 측정된 토양특성들의 공간적 분포패턴과, 2) 토양 특성들 간의 관계, 그리고 3) 이후 데이터 취득시 고려사항을 고찰하는데 있다.

2. 재료 및 방법

시험포장은 우리나라의 전형적인 수도 포장으로써, 100 × 30 m 크기의 농촌진흥청 농업공학연구소 포장(37.284 N, 126.956 E)이었으며 벼 재배를 위한 포장내 관개수 흐름은 그림 1과 같이 오른쪽 아래에서 왼쪽 위로 진행하였다. 벼 재배는 5월에 모내기를 하고 11월에 수확하였다. 데이터는 벼 수확이 끝난 후 2004년 12월 3일에 실시하였으며 대기의 기온은 15 ~ 16°C이었고 습도는 약 69%이었다(기상청 홈페이지). 포장의 토양 분류는 Coarse loamy, mixed, nonacid, mesic family of Aquic Fluventic Eutrochrepts(토양도감 : 토양조사 자료, 농업기술원, 1984)이었다. 포장을 장변방향으로 10 m, 단변방향으로 5 m, 총 60셀로 나누어 각 셀에서 3번씩 센서 값을 측정하였다.

* 농촌진흥청 농업공학연구소 생산기계공학과

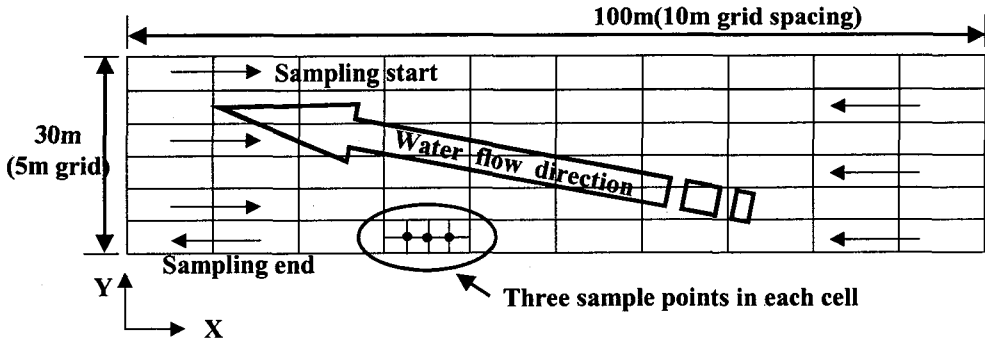


Fig. 1 Layout of experimental field and data collection strategy.

측정된 센서 값은 토양강도, 수분(WC), 전기전도도(EC), 온도이었다. 토양강도와 수분은 작물생육조건을 알 수 있는 주요 토양 특성이며, 전기전도도는 토성, 유기물, 수분, 양분 농도의 영향을 종합적으로 나타내며, 온도는 수분과 전기전도도 측정에 영향을 줄 수 있는 변수들이다. 토양강도는 ASAE standard small cone 원추관입기(Model: FieldScout Soil Compaction Meter, Spectrum Technologies, Inc., Plainfield, Ill, USA)로 측정하였고 수동으로 관입하되 30 mm/s를 최대한 유지하였다. 원추지수(kPa)는 5 cm 깊이마다 저장되었으며 40 cm 깊이까지 측정하였다. 수분(%), EC_tdr(mS/cm), 온도(°C)는 TDR 방식의 센서인 Soil Moisture Meter(Model: W&T-1000, 미래전자)로 동시에 측정하였다. 센서는 전극을 15 cm 깊이까지 삽입시킨 후 출력값을 판독하는 형식이었으며, 데이터는 원추지수를 측정할 지점으로부터 15 cm 이내의 지점에서 획득하였다. 아울러, 전자기 유도방식으로 EC를 측정하는 센서인 EM-38(Geonics Limited, Mississauga, Ontario, Canada)의 값(EC_em, mS/m)도 측정하였다. EC_em은 vertical mode로 설정하고 지면으로부터 2 ~ 3 cm 높이에 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 토양특성 공간분포와 상호관계

측정된 토양특성들 100 x 30 m 수도작 포장 내에서 공간적 변이를 나타내었다(그림 2). 여러 깊이의 원추지수의 경우 공간적 변이와 함께 수직적 변이도 보여주었다. 예를 들어, 5 cm 깊이에서는 포장 좌·우 부분보다 중앙부분의 원추지수가 높게 나타났으나 25 cm 깊이에서는 좌·우부분이 중앙부분보다 더 높았다. 또한, 대체적으로 20~25 cm 깊이에서 가장 큰 원추지수를 보여주고 있어 경반층의 존재도 보여주었다. 주목할 것은 25 cm 깊이의 원추지수 분포를 보면, 2 MPa 이하의 원추지수를 보이는 지역도 상당부분을 차지하여 포장전체를 경운하지 않고 필요한 부분만 필요한 경심으로 경운할 수 있는 정밀경운의 가능성을 나타내고 있다는 것이다.

수분, 온도, 전기전도도 또한 포장내 공간적 변이를 보이고 있으며 원추지수 분포보다 더 뚜렷한 패턴을 보여주었다. 장변방향으로 중앙부분이 상·하 부분보다 수분은 낮고 온도는 높았다. 온도의 경우 대기와 지표면의 온도분포는 균일할 것으로 생각되나, 15 cm 깊이

까지의 평균온도가 이러한 공간적 변이를 보이는 것은 주목할 만하다. 전기전도도는 EC_tdr과 EC_em이 정도의 차이는 있으나 우측하단이 높고 좌측상단이 낮은 분포를 보이고 있어 관개수의 흐름방향 또는 관개수 흐름으로 인한 양분의 분포와 관계가 있음을 시사해 주었다.

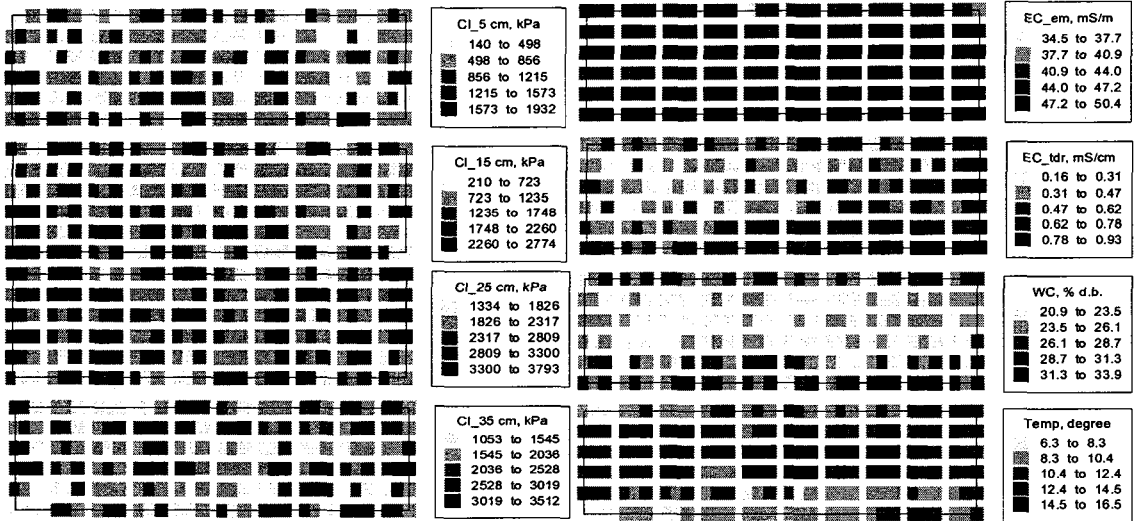


Fig. 2 Point maps with equal-interval classification for the sensor measurements.

토성이 균일한 경우 수분이 낮을수록 원추지수가 크게 나타날 것으로 기대하였으나 뚜렷한 패턴을 보이지 않았다. 수분과 온도가 유사한 분포를 보였으며 수분이 낮은 부분이 온도가 높은 이유는, 수분이 흙보다 비열이 크고 대기온도가 흙의 온도보다 높았기 때문인 것으로 판단되었다. 이 외에 서로 다른 토양 특성 간에는 상호관계를 보여주는 뚜렷한 패턴을 찾을 수 없었다.

나. 데이터 취득과 분석 고려사항

데이터 취득이 오전 10시경부터 오후 5시경까지 7시간에 걸쳐 수행되었으므로 센서들의 특성상 시간에 따른 표류가 있을 수 있다고 판단하였다. Sudduth et al. (2001)은 EC_em의 경우 대기의 온도, 습도, spherics 등의 영향을 받을 수 있고 3 mS/m·h 정도 표류할 수 있다고 보고하였다. 그림 3으로부터 시간에 따라 전체적으로 EC_em이 증가하는 경향을 보이고 있으나, 이는 포장 좌측상단보다 우측하단이 EC_em이 높은 경향과 혼재되어 시간에 따른 출력값 표류라 판단하기 힘들었다. 또한, 첫 번째 측정위치인 좌측상단의 3지점에서 데이터 취득기간 동안 4회에 걸쳐 측정된 값들 간에 1-2 mS/m 이내의 차이만 있어 포장내 변이에 비하여 미소하다고 판단하였다. 온도(그림 3, 우측) 또한 중간 부분이 낮게 나타난 것은 포장내 변이로 인한 것으로 판단되었으며 시간에 따른 큰 표류 패턴을 찾지 못하였다.

원추지수의 공간변이는 다른 센서값의 공간변이에 비하여 뚜렷하지 않았는데, 이는 토양의 원추지수 변이자체의 원인일 수도 있으나 매우 작은 volume의 토양에 대하여 측정한다는 원추관입기 사용상의 원인일 수도 있다. 공간변이의 패턴의 명확한 정도가 EM-38,

Soil Moisture Meter, 원추관입기의 순서인 것도 이를 뒷받침해준다. 따라서 노이즈 가능성이 높은 센서일 경우, 충분한 수의 데이터를 취득하여 평균하는 등의 처리가 있어야 할 것으로 판단되었다. 이러한 노력은 토양특성의 공간적, 수직적 변이를 보다 명확하게 파악하고 이들 간의 통계적으로 유의한 상호관계를 얻는데 도움을 줄 것이다.

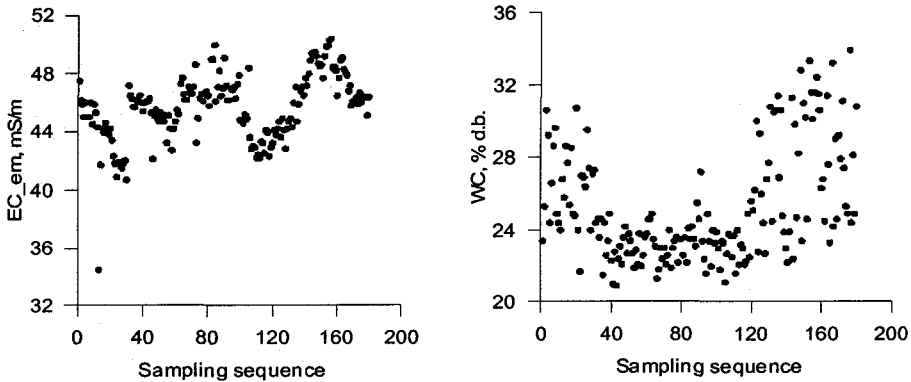


Fig. 3 Changes in EC_cm and soil water content with sampling sequence.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 상용화된 토양강도, 전기전도도, 수분, 온도센서로 전형적인 우리나라 수도작 포장의 토양특성을 측정하고 그 변이와, 데이터 취득 및 이용상의 고려사항을 고찰하였다. 센서를 이용함으로써 토양특성 변이를 측정하고 정밀농업에 응용할 수 있는 유용한 자료를 얻을 수 있음을 확인하였으나, 원하는 정밀도의 변이측정과 측정한 서로 다른 토양특성을 비교분석하기에는 sampling density, 출력표류 등의 요인을 고려해야 한다는 것을 알 수 있었다.

5. 참고문헌

1. 박우풍, 이충근, 김상철, 성제훈, 정인규, 황성준. 2002. 논 포장의 전기전도도 실시간 계측을 위한 기초적 연구(1). 한국농업기계학회 2002년 동계학술대회 논문집 7(1): 73-78.
2. 정병학, 박영준, 박해권, 박서범, 김경욱. 2004. 정밀 경운을 위한 원추지수 지도 작성. 한국농업기계학회 2004년 하계학술대회 논문집 9(2): 113-117.
3. 조성인, 최상현, 김유용. 2002. 실시간 토양 유기물 센서와 DGPS를 이용한 질소 시비량 지도 작성 시스템 개발. 한국농업기계학회지 27(3): 259-266.
4. Chung, S. O., J. H. Sung, K. A. Sudduth, S. T. Drummond, and B. K. Hyun. 2000. Spatial variability of yield, chlorophyll content, and soil properties in a Korean rice paddy field. In Proceedings of the Fifth International Conference on Precision Agriculture, eds. P. C. Robert, R. H. Rust and W. E. Larson, Unpaginated CD-ROM. Madison, Wisc.: ASA, CSSA, and SSSA.
5. Sudduth, K. A., S. T. Drummond, and N. R. Kitchen. 2001. Accuracy issues in electromagnetic induction sensing of soil electrical conductivity for precision agriculture. Computers and Electronics in Agriculture. 31: 239-264.