

이동식 토양강도 프로파일 센서

On-the-go Soil Strength Profile Sensor

정선옥*

Kenneth A. Sudduth**

정희원

S. O. Chung

K. A. Sudduth

1. 서론

정밀농업으로 친환경, 고품질 농산물을 생산하기 위해서는 토양특성 변이를 측정하고 이해하여야 한다. 토양을 통해 수분과 양분이 이동하고, 작물이 이용할 수 있는 수분과 양분의 양이 결정된다. 농기계의 크기와 사용빈도가 증가하면서 농경지 다짐이 문제되고 있다. 과도한 토양다짐은 작물생육과 환경오염에 악 영향을 준다. 토양다짐의 원인, 과정, 효과는 공간적 위치에 따라 다르고, 또한 깊이에 따라 다르므로 토양다짐과 관련토양정보의 공간적, 수직적 변이를 정량화하고 관리하는 기술이 필요하다.

토양다짐 또는 토양강도를 현장 진단하는 도구로 원추관입기가 주로 사용되고 있다. 하지만 원추관입기는 한 지점의 값을 측정하기 때문에 정밀농업에 사용할 목적으로 토양특성 변이를 측정하기에 충분한 양의 데이터를 얻으려면 시간과 노동력이 많이 요구된다. 이러한 한계를 극복하는 방법으로 포장을 이동하면서(on-the-go) 계속적으로 토양강도를 측정하는 센서가 연구·개발되는 추세이다(Adamchuk et al., 2004). 보고된 개발사례들은 접근방법과 형태가 다양한데, 1) 토양강도의 내용에 따라 경운저항, 타인의 굽힘강도, 수평이동저항(penetrating resistance), 2) 센싱요소의 수에 따라 단일 또는 다중, 3) 센싱팁의 형태와 돌출여부에 따라 원추형 돌출팁, 프리즘형 미돌출팁 등이 있다. 여러 깊이의 토양강도를 동시에 측정할 수 있는 이동식 토양강도 프로파일 센서는 포장 내 과도 다짐지역과 심토다짐 검출, 관련 토양특성 변이 연구, 경운 효과 평가 등 연구에 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

본 논문에서는 선행연구(Chung, 2004)에서 토양강도 프로파일 센서를 개발하고 포장시험을 실시한 결과를 소개하고자 한다.

2. 재료 및 방법

가. 센서제작 및 최적화

예비 데이터 분석과 토양파괴 이론분석을 통하여 센서의 주요 설계변수를 결정하였다. 예비 데이터 분석은 미국 Missouri주 Centralia시에 있는 시험연구포장(39.230 N, 92.117 W,

* 농촌진흥청 농업공학연구소 생산기계공학과

** USDA-ARS Cropping Systems and Water Quality Research Unit, Columbia, Missouri

표토성분: silt loam ~ silty clay loam, 심토성분: 50 ~ 60%의 smectitic clay)에서 취득한 원추지수 프로파일(clay 함량이 서로 다른 12 x 12 m 지역에서 각각 30점 측정)과 경운저항(35 ha에서 23,000점 측정)을 이용하였다. 결정된 설계변수는 최대 센싱깊이, 최대 토양강도, 센서분해능, 최소 샘플링 간격이 각각 0.5 m, 10 MPa, 0.1 MPa, 0.5 m 이었다. 토양과 피 이론분석과 시뮬레이션 결과에 근거하여 절단각(apex angle)이 60°이고 단면적이 361 mm²인 프리즘형으로 센싱팁의 크기와 형태를 결정하였으며 포장 데이터 취득을 위한 주행 속도는 인공토조 시험결과를 근거로 1.5 m/s로 하였다. 팁으로 검출한 저항력을 팁 단면적으로 나눈 값을 PSSI(Prismatic Soil Strength Index, MPa)라 정의하였다.

그림 1은 제작된 토양강도 프로파일 센서(SSPS)이다. 센싱팁은 2.5 cm 두께의 주 날(main blade)로부터 돌출되어 있으며 팁의 반대쪽이 로드셀과 접하도록 하였다. 로드셀 신호는 저역통과필터와 증폭기를 거쳐 컴퓨터에 저장되었다. 센싱팁의 간격과 돌출정도는 주 날, 또는 인접 팁간의 간섭을 최소화 하도록 요인시험을 통하여 각각 10 cm와 5 cm로 선정되었다. 그림 1의 (c)와 같이 SSPS를 트랙터 3점 히치에 장착하였고 센서의 안전을 위하여 shear bolt mechanism을 채택하였다. SSPS가 고속으로 원활하게 관입되도록 75 kg weight를 6개 장착하고 센서가 진행되는 동안 잡초 등이 걸리지 않도록 coulter를 설치하였다.

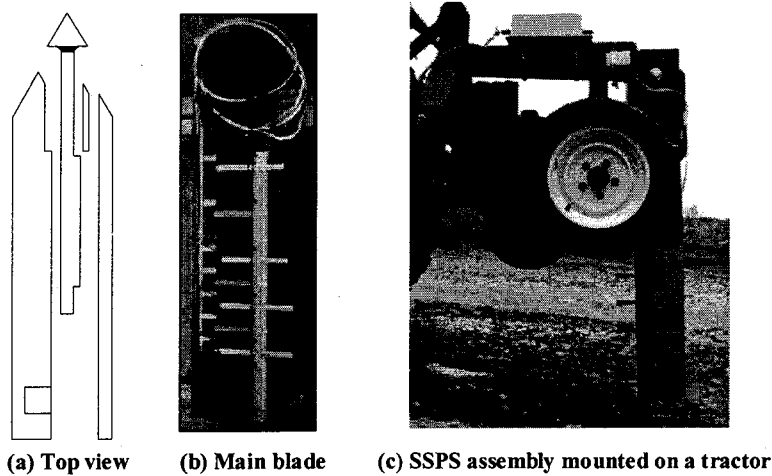


Fig. 1 Structure of the on-the-go soil strength profile sensor (not to scale).

나. 성능시험

성능시험은 센서 캘리브레이션을 위한 실내시험, 신뢰성과 이용가능성 평가를 위한 포장시험으로 구성되었다. 실내시험은 0, 0.32, 0.66, 0.99, 1.32, 1.64 kN의 힘을 차례로 부가하여 로드셀 신호와 회귀하여 그 기울기를 구하였고 각 무게에 대하여 100 Hz로 20초 동안 데이터를 받아 평균값을 이용하였다.

포장시험은 Missouri주 Hartsburg의 시험포장(39.230 N, 92.119 W, 80 x 450 m)에서 실시되었는데 토성은 sand 성분이 비교적 많이 포함되어 있는 Leta series와 Haynie series의 alluvial 토양이었다. 다섯 깊이(10, 20, 30, 40, 50 cm)에서 PSSI를 측정하였는데 토양강도 변이측정 성능평가를 위해 20 m 간격으로 4회 주행하였다(reference transect). 주행속도

와 샘플링주파수는 각각 1.5 m/s와 10 Hz이었으며 1 m 이내의 정밀도를 가진 DGPS 수신기 위치정보를 1초 간격으로 함께 취득하였다. 기준주행경로로부터 1 ~ 4 m 거리를 두고 4회 추가 주행하여(test transect) 반복성을 평가하였으며 주행방향은 처음 주행방향과 반대로 하였다. 기준주행경로와 시험주행경로에서 일정간격으로 52지점을 대응하도록 각각 선택하되 4 m 구간의 신호 평균값을 이용하여 반복성 비교의 신뢰성을 높이고자 하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 센서 캘리브레이션 실내시험

부가한 힘과 로드셀 디지털 출력(digital number, DN)의 선형관계를 5개 채널에 대하여 그림 2에 나타내었다. 채널간 기울기는 3% 정도 차이를 보이고 있으나 차후 증폭기나 로드셀 교체시 나타날 수 있는 차이로 판단하고 모든 채널의 데이터를 통합하여 기울기를 구하였다. 직선회귀(y-intercept=0, $\alpha=0.05$)의 결과 2.17×10^{-3} 의 캘리브레이션 상수를 얻었으며 포장시험에서 얻어지는 출력값(DN)을 힘(kN)으로 변환하는데 사용하였고, PSSI는 얻어진 힘을 단면적으로 나누어 구하였다.

나. 포장 데이터 취득

기준경로와 주행경로에서 선택된 52지점에 대하여 깊이별로 PSSI 4-m 평균값을 그림 2에 비교하였다. 대체적으로 1:1 직선을 중심으로 균등하게 데이터가 분포하였으며, 모든 깊이의 데이터를 회귀하였을 때 기울기는 0.95 ± 0.03 (95% 신뢰구간, $P < 0.01$, $r^2 = 0.93$)이었다. 각 깊이에 대한 회귀를 하였을 때 기울기가 1과 유의한($\alpha = 0.05$) 차이를 보이지 않았으며 30-cm 깊이에서만 약간 차이를 보였다(0.90 ± 0.06). 이로부터 PSSI 측정이 반복적이고 안정적인임을 확인하였다.

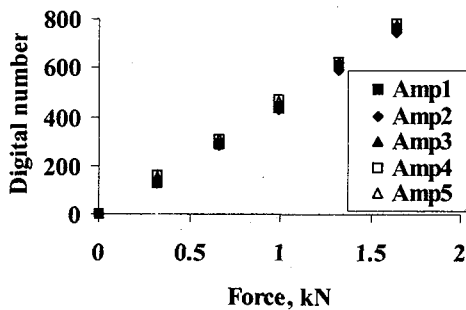


Fig. 2 Digital output vs. applied static force in the load cell calibration tests.

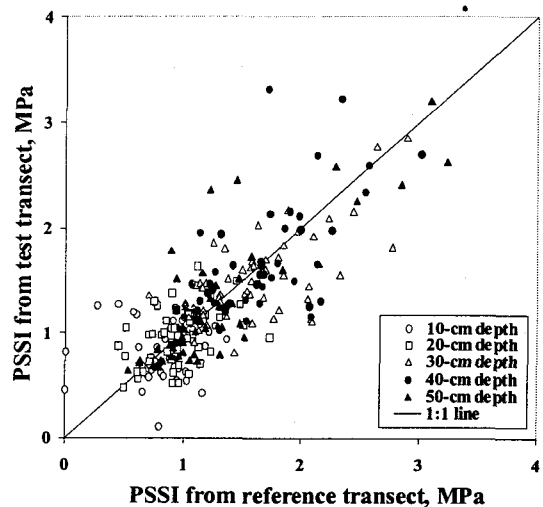


Fig. 3 Comparison of PSSI from the reference and test transects.

그림 4에 각 깊이에서의 PSSI를 크리깅된 지도를 나타내었다. 전기전도도가 점토함량과 유의한 상관성이 있음이 선행연구로부터 얻어졌는데(Sudduth et al., 2003), 전기전도도(Veris-deep ECa)지도와 PSSI를 비교하였을 때, 전체적으로 ECa가 낮은 위치, 즉 점토함량이 낮은 지역에서 PSSI가 높게 나타났다. ECa가 낮은 위치에서 높은 PSSI를 보이는 공간적인 분포패턴은 다른 깊이에서도 유사하게 나타났으나 그 정도는 깊이별로 달랐다. PSSI가 가장 큰 깊이는 40 cm 이었다. Taylor and Gardner (1963)는 원추지수가 2 MPa 이상이면 작물뿌리의 성장을 제한한다고 보고하였다. 같은 기준을 40-cm 깊이 PSSI 지도에 적용하였을 때 15.8% 면적만이 이 기준을 초과하였고 나머지 면적은 작물생육에 문제가 되지 않는 토양강도를 보여주었다. 이상 결과를 종합하면, SSPS를 이용한 공간적, 수직적 PSSI의 변이 측정이 신뢰성 있으며 그 응용가치가 크다는 것을 보여주고 있다.

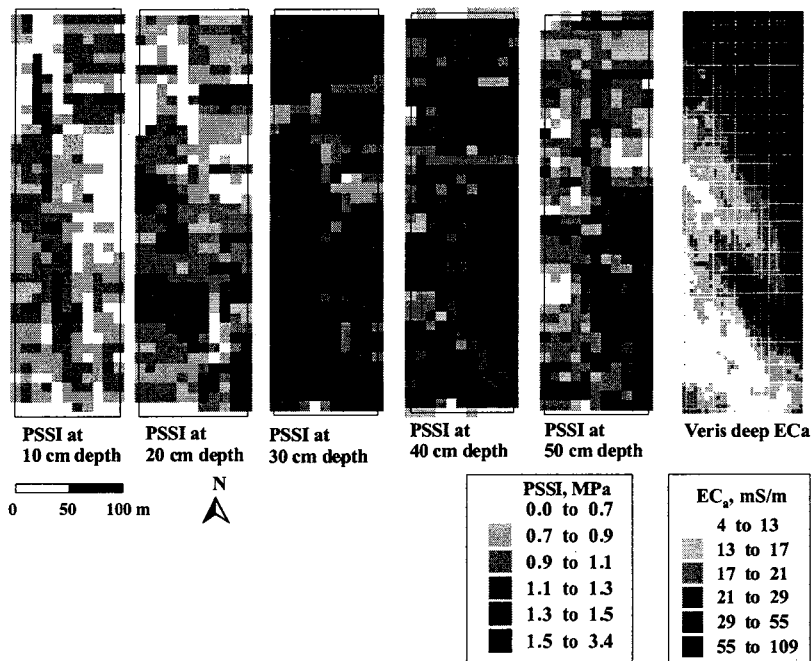


Fig. 4 Kriged maps of PSSI (10 x 10 m grid) at the five sensing depths and Veris-deep ECa (5 x 5 m grid).

4. 참고문헌

1. Chung, S. O. 2004. On-the-go soil strength profile sensor. PhD Dissertation. Columbia, Mo.: University of Missouri.
2. Adamchuk, V. I., J. W. Hummel, M. T. Morgan, and S. K. Upadhyaya. On-the-go soil sensors for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* 44: 71-91.
3. Sudduth, K. A., N. R. Kitchen, G. A. Bollero, D. G. Bullock, and W. J. Wiebold. 2003. Comparison of electromagnetic induction and direct sensing of soil electrical conductivity. *Agronomy Journal* 95(3): 472-482.
4. Taylor, H. M., and H. R. Gardner. 1963. Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content, and strength of soil. *Soil Science* 96(3): 153-156.