

# 트랙터 부착형 토양 경도 측정 시스템 개발

## Development of Tractor Attachable Soil Hardness Measuring System

정병학*	박영준*	박해권*	김경욱*
정희원	정희원		정희원
B.H.Jung	Y.J.Park	H.K.Park	K.U.Kim

### 1. 서론

토양 경도는 작물의 성장 특히, 뿌리의 성장에 큰 영향을 미친다. 토양의 경도가 증가함에 따라 작물의 수량이 감소되는 현상은 많은 연구에서 보고된 바 있다. 따라서 작물에 따라 적절한 토양 경도를 유지하는 일은 대단히 중요하다. 최근, 정밀 농업에 대한 관심이 증가됨에 따라 토양과 작물의 상태를 정확히 나타낼 수 있는 다양한 변수가 연구되고 있으나, 아직까지 단 하나의 변수로써 생육 상태를 정확히 나타낼 수는 없다. 토양 경도도 작물의 생육 상태에 영향을 미치는 변수로서, 그 영향을 구명할 필요가 있다.

토양 경도를 정밀 농업의 제어 변수로서 활용한 연구는 아직까지 보고된 바 없으나, 포장에 대한 경도의 공간적, 시간적 변이를 구명함으로써, 정밀 농업의 제어 변수로서의 가능성을 확인할 수 있을 뿐만 아니라 부분 경운, 부분 심토 파쇄 등 경운에 소요되는 에너지를 최소화하고, 토양 파괴로 인한 토양 유실 방지 및 환경 보존을 위한 새로운 방안을 제시할 수 있을 것이다.

토양 경도 측정기는 이미 토목 분야에서 다양한 장치가 개발되어 있다. 그러나 이는 모두 토양의 강도와 관련하여 토양의 파괴 또는 안전성을 평가하기 위한 변수로서 사용되고 있다. 그러나, 토양의 경도를 작물의 생육 상태를 나타내기 위한 변수로서 측정된 경우는 없었으며, 작물의 생육 상태를 나타내는 적절한 토양 경도의 측정 방법과 이를 측정하기 위한 적절한 장치도 개발된 바 없다.

따라서, 본 연구는 정밀 농업을 위한 토양 분석용 시료를 채취할 때, 시료 채취 지점의 토양 경도를 측정할 수 있는 장치와 측정 결과를 분석하고 경도 지도를 작성할 수 있는 시스템을 개발하기 위한 것이다.

### 2. 재료 및 방법

#### 가. 시험 재료

자동 토양경도 측정장치 개발에 사용된 트랙터는 정격 출력이 30 kW, 중량이 17.1 kN인 4륜 구동 트랙터이다. 자동 토양 경도 측정 장치를 트랙터에 부착하여 이동성을 용이하게 하였다.

---

\* 서울대학교 농생대 생물자원공학부 농업기계전공

## 나. 기본 설계 사양

본 연구에서는 원추 지수를 토양 경도를 나타내기 위한 변수로 사용하였다. 경도 측정 장치는 한 지점에서 트랙터를 정지하여 경도를 측정하고 다시 다른 지점으로 이동하여 측정할 수 있도록 하였다. 한 지점에서는 30 cm 간격으로 일직선상에 있는 3점의 원추 관입 저항을 측정하여 원추 지수를 결정할 수 있도록 하였다. 이러한 토양 경도 측정 장치를 개발하기 위하여 기본 설계 조건은 표 1과 같이 설정하였다.

표 1 기본 설계 조건

기본 항목	설계 기준
최대 원추 관입력	4900 N
원추 형상(ASAE 표준형)	Soft soil: 저면적=323 mm <sup>2</sup> , 원추각=30° Hard soil 저면적=130 mm <sup>2</sup> , 원추각=30°
최대 원추 지수	35 MPa
최대 관입 깊이	400 mm
원추 관입 속도	10 mm/s, 30 mm/s, 50mm/s 선택
원추 관입 동력	트랙터 유압
트랙터 부착 3점 히치 마스트	카테고리I
계기판 표시 내용	원추 관입 속도, 원추 관입 깊이, 작용 하중, 원추 지수

## 다. 하드웨어 설계

기본 설계 조건에 따라 그림 1에서와 같이 트랙터 부착형 토양 경도 측정 장치의 레이아웃을 설계하였다. 프레임의 전방에는 등간격으로 3개의 원추관입장치를 설치하고, 후방에는 콘트롤 박스를 고정하여 원추관입장치를 제어하기 위한 유압 시스템, 각종 선택 스위치 및 작동 상태를 확인하기 위한 계기판을 설치하였다.

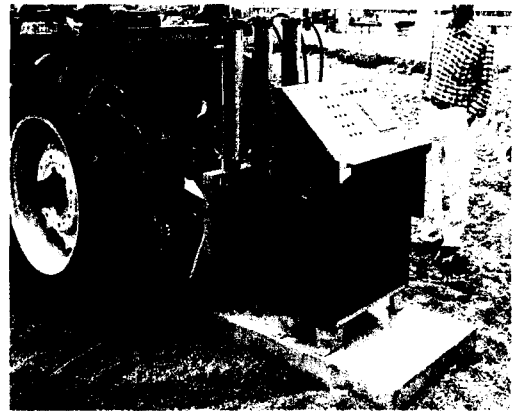
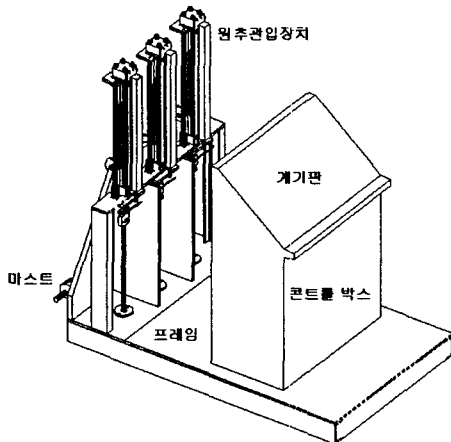


그림 1 트랙터 부착형 토양 경도 측정 장치의 레이아웃과 시작기.

### 1) 원추관입장치

원추관입장치는 원추를 토양으로 관입시키기 위한 유압 실린더, 관입 깊이를 측정하기 위한 리니어 포텐쇼미터, 관입력을 측정하기 위한 로드셀로 구성하였다. 유압 실린더의 피스톤이 하강하여 로드셀의 상판을 누르면 로드셀과 연결되어 있는 원추가 토양으로 관입하고 이때 원추가 받는 관입 저항이 로드셀로 전달되어 원추 관입력을 측정하도록 하였다. 로드셀에는 LM guide를 설치하여 정확한 수직력이 작용할 수 있도록 하였다. 원추관입장치에 사용한 로드셀, 리니어 포텐쇼미터의 제원은 각각 표 2, 3에서와 같다.

표 2 로드셀 제원

Specifications	
Max. pressure	50 MPa
Excitation voltage	10-15 V
Non-linearity	0.1%
Temperature	-20~80°C

표 3 리니어 포텐쇼미터 제원

Specifications	
Max. displacement	500 mm
Error %	0.05%
Limit velocity	5 m/s
Temperature	-30~100°C

### 2) 유압 시스템

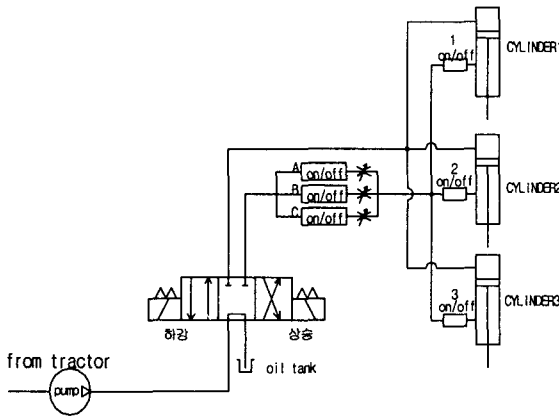


그림 2 유압 시스템.

유압 시스템은 그림 2에서와 같이 3개의 단동 유압 실린더, 실린더를 선택하기 위한 3개의 ON/OFF 밸브, 원추 관입 속도를 선택하기 위한 3개의 유량 제어 밸브, 1개의 3위치 4포트 방향 밸브로 구성하였다. 유압 오일은 트랙터의 원격 유압 포트를 이용하여 공급하였다. 그림 2에서 유량 제어 밸브 A, B, C는 각각 원추 관입 속도를 10 mm/s, 30 mm/s, 50 mm/s로 설정하기 위한 것이며 A, B, C 중 1개의 밸브만을 ON 시켜 피스톤의 하강 속도를 선택할 수 있도록 하였다. 그러나 관입된 원추를 상승시

킬 때는 A, B, C 밸브를 모두 열어 빠른 속도로 상승할 수 있도록 하였다. 유압 시스템을 구성하는 유압 기기의 주요 제원은 표 4에서와 같다.

표 4 유압 시스템의 구성 장치

유압 실린더	방향 밸브	ON/OFF 밸브	유량 제어 밸브
행정: 500 mm	최대 압력: 25 MPa	최대 압력: 25 MPa	최대 압력: 10.5 MPa
내경: 40 mm	최대 주파수: 15 CPM	최대 주파수: 15 CPM	유량: 0.03~2 L/min
	온도: 5~60 °C	온도: 5~60 °C	온도: 5~60 °C

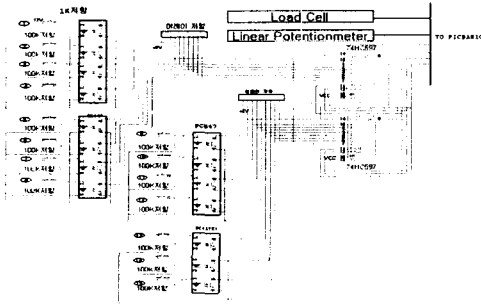


그림 3 입력부 전체 회로.

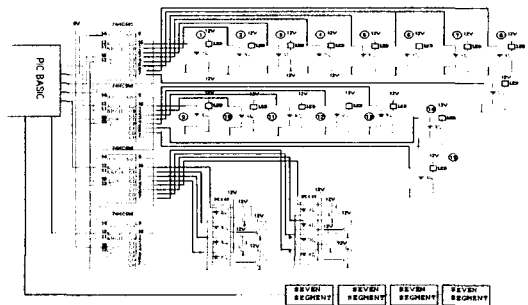


그림 4 출력부의 전체 회로.

### 3) 제어 장치

제어부는 크게 세 부분으로 구성하였다. 컴퓨터와 RS232C의 통신 여부를 설정하기 위한 모듈, 작동 원추, 작동 실린더, 최대 깊이, 관입 속도를 설정하기 위한 모듈, 원추의 관입 속도, 관입 깊이, 관입력, 원추 지수를 표시하는 모듈이다. 노트북 컴퓨터와 통신이 필요할 경우에만 통신 포트를 이용하여 데이터를 전송, 저장하고, 필요하지 않는 경우에는 표시 모듈을 이용하여 결과를 계기판에 나타낼 수 있도록 하였다.

입력 회로는 PC817 칩 15개로 구성하였다. PC817 칩의 신호는 확장 칩을 거쳐 마이크로 프로세서로 입력된다. 입력부 전체의 회로는 그림 3에서와 같이 구성되었다. 로드셀과 리니어 포텐쇼미터의 0~5 V의 전압 신호를 AD 컨버터를 통하여 0~4095(12 bit)의 디지털 신호로 변환시킨 후 마이크로 프로세서로 입력시켜, 입력된 신호가 계기판에 나타나도록 하였다. 입력 포트는 74HC597을 사용하여 확장하였다.

출력부는 마이크로 프로세서에서 5 V의 전압이 인가되면 다이오드를 거쳐 트랜지스터에 전류가 흐르고 LED가 점등된다. 이러한 방법으로 LED를 점등하여 스위치의 ON 상태를 나타내도록 하였다. 솔레노이드 밸브 회로는 광다이오드와 TIP41C 트랜지스터를 통하여 솔레노이드에 전압이 인가되면 솔레노이드가 작동하도록 하였다.

### 라. 소프트웨어 설계

본 연구에서 개발한 토양 경도 측정 장치의 제어용 프로그램은 (주)COMFILE사의 PicBasic 프로그램 언어를 사용하였다. 관입봉은 ASAE standard의 Hard Cone(저면적:130 mm<sup>2</sup>)과 Soft Cone(323 mm<sup>2</sup>)을 선택하도록 하였다. 안전 하중은 2450 N으로 설정하여 그 이상의 부하에서는 실린더의 작동을 정지하고 비상등을 점등하여 과부하로 인한 하드웨어의 손상을 막도록 하였다. 한편, 노트북 컴퓨터와 실시간 통신을 통하여 포장에서 직접 데이터를 수집할 수 있도록 하였다.

Sampling time은 0.01초 간격으로 하여 보다 정확한 데이터를 읽을 수 있도록 하였다.

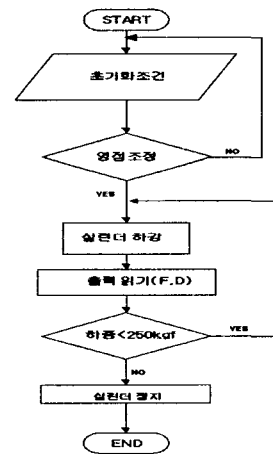


그림 5 제어 흐름도

## 마. 성능 시험 방법

시험 포장의 토양은 점토, 실트, 모래의 비율이 각각 1.16%, 20.42%, 78.42%인 양질 사토로서 평균 함수율은 20.1%(d.b.)이었다. 원추를 일정속도로 30 cm까지 관입시켰으며 이 때 저항력과 깊이를 실시간으로 측정하였다. 자동 토양 경도 측정 시스템의 작동 상태를 확보하기 위하여 수동형 원추관입기의 측정값과 비교, 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 가. 시스템 동작 성능

과부하에 의한 시스템의 오작동을 막기 위하여 저항력이 2450N 이상일 때는 관입을 정지하도록 하였다. 관입 깊이도 200 mm, 300 mm, 400 mm로 조절할 수 있도록 하였다. 시험 결과, 시스템의 동작에는 이상이 없었으며 저항력이 2450 N 이상일 때 정지하였다. 과부하일 때는 갑자기 큰 전류가 트랜지스터로 흘러 트랜지스터가 손상되는 현상이 나타났다. 그러나 이런 현상은 트랜지스터 보상 회로를 이용하여 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

### 나. 토양 경도 측정 시험 결과

본 연구에서 개발한 트랙터 부착형 토양 경도 측정 시스템의 성능 시험 결과를 표 5와 그림 6, 7에 나타내었다. 그림 6은 임의의 지점에서 토양 경도를 측정한 결과를 나타낸 것이다. 그림 6에서와 같이 지면에서 15 cm깊이의 토양에서 경도가 크게 증가하였다. 그림 7은 임의의 지점에서 토양 경도 측정 시스템을 이용한 토양 경도와 수동형 원추관입기를 이용한 토양 경도를 깊이별로 비교, 분석한 결과이다. 토양 조건이 동일하지 않으므로 정확한 비교는 어렵지만, 토양 경도의 경향이 일치하였다.

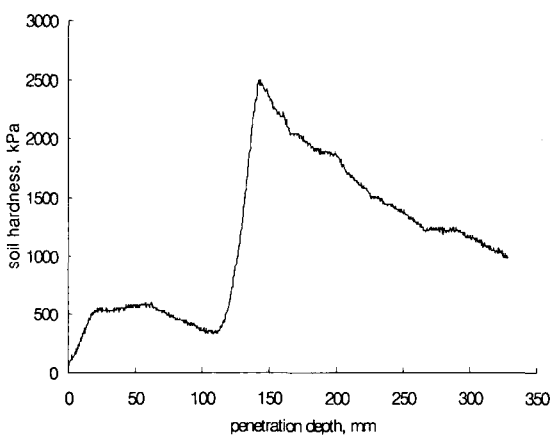


그림 6 연속적인 토양 경도 측정 결과.

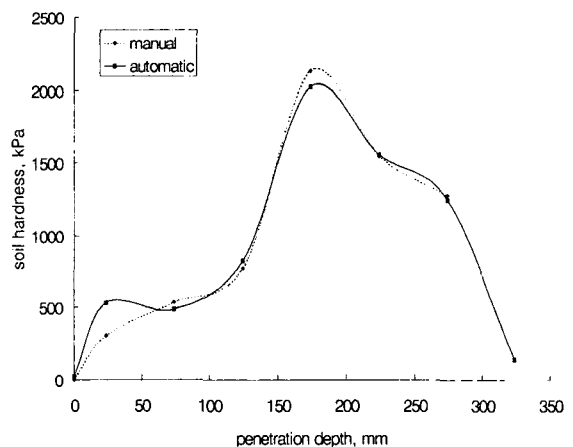


그림 7 수동형과 자동형의 비교 결과.

표 5 토양 경도 측정 시스템을 이용한 토양 경도 측정 결과

penetration depth (mm)	soil hardness (kPa)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0	534.1	801.6	645.8	801.6	1113.3	490.0	555.7	645.8
5	490.0	579.2	555.7	712.5	689.9	667.4	689.9	378.3
10	823.2	1201.5	2269.7	2137.4	1714.1	623.3	957.5	1379.8
15	2025.7	2069.8	2559.8	1602.3	1357.3	1290.7	1024.1	801.6
20	1558.2	1647.4	1379.8	1535.7	1402.4	1269.1	1113.3	1134.8
25	1246.6	1179.9	1246.6	1113.3	1134.84	1201.5	1179.9	1090.7

#### 4. 요약 및 결론

본 연구 결과로서 개발한 트랙터 부착형 토양 경도 시스템은 정밀 농업을 위한 시료 채취와 동시에 토양의 경도를 실시간으로 측정하기 위한 것이다.

본 연구에서 제작한 시작기의 일반 사항은 다음과 같다.

- (1) 시스템은 트랙터 부착형으로서 이동하면서 측정할 수 있다.
- (2) 유압원 및 전원은 트랙터의 유압과 배터리를 사용하였다.
- (3) 최대 깊이는 400 mm, 하중은 2940 N까지 측정할 수 있으며, 안전 하중은 2450 N이다.
- (4) 측정 결과를 수동형 원추관입기와 비교하였을 때 유사한 경향을 나타내었다.

#### 5. 참고 문헌

1. 정병학. 1999. 농용 트랙터에 의한 농경지의 토양다짐에 관한 연구. 서울대 대학원
2. ASAE standard : ASAE S313.3 FEB99. Soil Cone Penetrometer. 2000
3. Ohmiya, K. 1998. Cone resistance measuring system. JSAM Vol. 60(5) : 126-129