

## 에너지 절감형 트랙터 로타리날 개발 (II)

- 트랙터 부착형 자동 토양경도 측정 시스템 개발 -

## Development of energy saving rotary blade for tractor (II)

- Development of automatic system connected tractor for measuring soil hardness -

이현동*	김기대*	박우풍**	김성환*	김찬수***	서동현*
정회원	정회원	정회원		정회원	정회원
H. D. Lee	K. D. Kim	W. P. Park	S. H. Kim	C. S. Kim	D. H. Seo

### 1. 서론

우리나라의 농용트랙터의 농가 보급율은 1999년 현재 12.7%로 약 18만대 정도이며, 연간 약 2만대 정도의 트랙터가 보급되고 있다. 농작업중 노동력이 가장 크게 소요되는 경운작업은 플라우(plow)경운과 로타리(rotary)경운으로 나눌 수 있는데, 최근에는 로타리를 이용한 경운으로 대체되고 있는 실정이다.

그러나 우리나라에서 현재 시판되거나 개발된 로타리날은 1970년대 외국에서 들여온 모델을 조금씩 변형해서 사용하고 있어 우리나라 토양 조건 및 농업형태와 상당한 거리를 두고있는 실정이다. 또한 로타리날을 개발하여도 기존 로타리날과의 성능을 비교분석 하는데 필요한 동일조건외 포장을 찾기란 쉬운 일이 아니라 사료된다. 로타리날의 성능을 비교분석 하는데 필요한 동일조건이라 함은 합수율, 토양의 입자크기, 공극 등 많은 인자가 같아야 하지만, 실질적으로 모든 조건인자를 포함하여 토양경도가 같으면 동일조건으로 판단할 수 있다. 그러나 지금까지의 토양경도 측정은 계측의 자동화만 이루어졌을 뿐 작동의 자동화는 이루어지지 않아 수동 작동시 작업자의 작업형태에 따라 데이터 값이 큰 차이를 나타내고있다.

따라서, 본 연구는 우리나라 토양조건이나 작업형태에 맞는 에너지 절감형 트랙터 로타리날을 개발하기 위한 전단계 연구로서, 기존에 개발된 로타리날과 개량, 보완되어 개발될 로타리날의 성능을 비교 분석하기 위하여 수동 토양경도 측정기의 부정확성을 개량하여 측정의 정확성을 통한 동일 실험조건에서의 실험을 실시하고자 자동으로 작동되며 토양경도측정을 할 수 있는 트랙터 부착형 자동 토양경도 측정 시스템을 개발하는데 목적이 있으며, 그 구체적인 연구 목적은 다음과 같다.

- 1) 수동형 토양경도 측정기를 보완한 트랙터 부착형 자동 토양경도 측정 시스템을 개발하고,
- 2) 개발된 시스템의 성능실험을 실시하여,
- 3) 앞으로 개발될 에너지 절감형 트랙터 로타리날의 개발에 필요한 실험조건을 제시할 수 있는 실험도구로 활용한다.

### 2. 재료 및 방법

#### 가. 공시재료

본 연구에서 사용된 트랙터는 대동공업(주)에서 제작한 22마력 트랙터이다. 비교적 소형이나 기동성과 개발된 자동 토양경도 측정 시스템의 부착성이 용이하여 실험에 사용하였다. 또한, 본 연구에서 개발된

---

\* 충남대학교 농업생명과학대학 농업기계공학과

\*\* 농촌진흥청 농업기계화연구소

\*\*\* (주) 엔에스티

시스템의 성능실험은 충남대학교 농업생명과학대학 부속농장 실험포장에서 실시하였으며, 실험 기간은 2001년 10월 8일부터 20일 이었으며, 실험포장의 평균 함수율은 약 26%(d.b.)으로 나타났다.

#### 나. 하드웨어 설계

본 연구에서의 하드웨어는 토양경도 측정부, 측정장치 구동부, 그리고 트랙터와의 연결부로 구성되어있다. 그림 1은 트랙터 부착형 자동 토양경도 측정 시스템의 구성도를 나타낸 것이고, 표 1에 시스템의 제원을 나타내었다.

먼저, 자동 토양경도 측정 시스템의 경도 측정부는 로드셀을 이용한 힘의 측정원리를 사용하였다. 경도 측정부에 연결된 관입봉이 관입을 할 때 봉이 받는관입력을 로드셀로 측정함으로써 그때 측정된 저항력을 토양경도라 칭하였다. 로드셀에서 들어오는 전기적 신호를 디지털 신호로 변환하기 위해 자체 개발한 A/D 컨버터를 사용하였다. 관입봉 끝에 달려있는 콘은 정각이 30°이며 높이가 26mm인 원추형 콘을 사용하였다. 그림 2는 토양경도 측정부를 나타낸 것이다. 측정장치 구동부는 2축 액츄에이터를 사용하였으며, 액츄에이터의 구동은 일본 PANASONIC 社の AC servo motor를 사용하였다. 모터 구동을 하기 위해 모터에 펄스를 제공하는 모터 드라이버, 컴퓨터에서 나오는 신호를 모터드라이브에 전달하는모터 인터페이스 보드, 그리고 컴퓨터로 구성하였다. 액츄에이터를 사용하여 로타리 폭 방향으로 토양경도 측정부를 움직일 수 있게 하였으며 토양경도 측정부에 달려있는 콘이 부착된 봉이 토양으로 관입될 수 있도록 토양과 수직방향으로 상하운동을 할 수 있도록 설계하였다. 시스템을 구동하기 위해서는 전원이 필요하기 때문에 차량용 축전지에서 AC 220V를 발생시킬 수 있는 인버터를 트랙터에 장착하여 시스템의 구동에 필요한 전원을 공급하였다. 그림 3에 토양경도 측정장치 구동부를 나타냈다. 트랙터와의 연결부는 J社에서 제작한 플랜지형 로타리의 상부커버에 측정장치 구동부 및 토양경도 측정부를 부착한 후 트랙터의 3점 링크에 연결하도록 제작하였다. 로타리 상부커버에 측정장치 구동부를 지지할 수 있는 지지대를 제작하여 구동부를 지지하였으며, 측정장치 구동에 필요한 컨트롤러, 컴퓨터 등을 탑재할 수 있게 하였다. 그림 4는 트랙터와의 연결부를 나타낸 것이다.

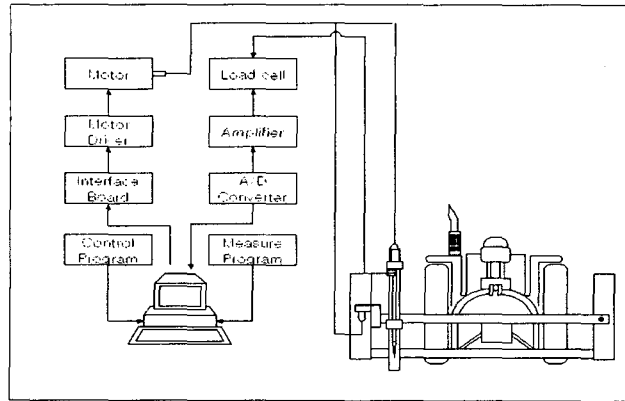


Fig. 1. Schematic diagram of automatic system connected tractor for measuring soil hardness

Table 1. Specification of automatic system connected tractor for measuring soil hardness

Item	Specification	Maker	Model
Servo Motor	200W, 100V, 400W, 100V.	PANASONIC	MSMO21A1A MSMO41A1E
Motor Driver	200W, 100V, 50/60Hz 400W, 100V, 50/60Hz	PANASONIC	MSDO21A1X MSDO41A1X
Motor Interface Board	2 axes control I/O 8 channels	CONTEC	STP-2M(PC)
Load cell	100 kgf	CAS	BCA-100L
A/D Convertor	Input 1 channel DO 4 channels	CNU AME	-
Actuator	1,600 stroke 700 stroke	INCOM	BAK1600 SJK05700
PC	Pentium II	IBM	-
Inverter	In DC 12V Out AC 220V	DAE-A POWER ELECTRIC	AR-10000

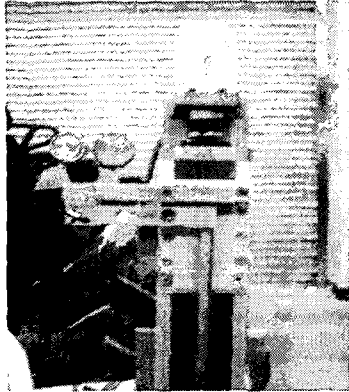


Fig. 2. Photo of sensor part of system for measuring soil hardness

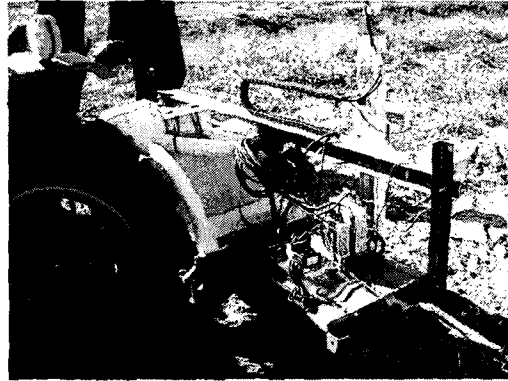


Fig. 3. Photo of driving part of system for measuring soil hardness

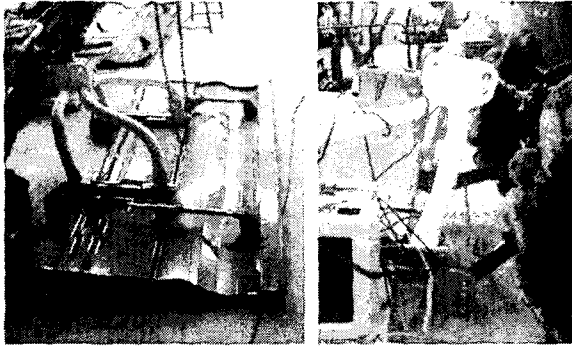


Fig. 4. Photo of connecting part of tractor in system for measuring soil hardness

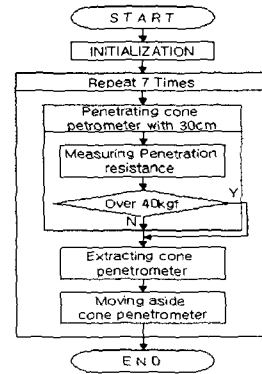


Fig. 5. The flow-chart of control program of system for measuring soil hardness

#### 다. 소프트웨어 설계

본 연구에서 개발된 토양경도 측정장치 제어용 프로그램으로는 MS社의 Visual Basic 6.0 프로그래밍 언어가 사용되었다. 관입봉의 관입속도는 ASAE standard에 나와있는 관입속도인 30mm/s로 설정하였으며, 경도가 크거나 토양 내부에 금속이나 돌 등에 의해 관입봉이 토양내부로 관입 되지않아 하중이 설정치 이상의 힘이 걸릴 경우에는 시스템의 안정성을 고려하여 관입을 중지하고 봉을 적출하도록 프로그래밍 하였다. 또한 토양경도 측정은 로타리 작업시 로타리날이 토양을 절삭하며 들어가는 부분과 같은 곳을 측정할 수 있도록 플랜지 간격과 같은 280mm마다 한번씩, 즉 로타리 폭당 7번씩 경도를 측정할 수 있도록 하였다. 7번의 측정이 끝나면 트랙터가 일정간격 전진하여 다시 경도를 측정할 수 있도록 하였다. 그림 5는 본 연구에 사용된 제어프로그램의 순서도를 나타낸 것이다.

#### 라. 자동 토양경도 측정 시스템 성능실험

본 연구에서 개발된 트랙터 부착형 자동 토양경도 측정 시스템은 컴퓨터의 제어에 의해 모든 동작과 계측이 이루어진다. 따라서 실제 포장에서 성능 실험을 실시하여 시스템의 성능을 측정하였고, 측정된 데이터를 이용하여 토양의 경도를 나타내었다. 시험포장은 충남대학교 농업생명과학대학 부속농장의 포장을 이용하였으며 평균 함수율은 26%(d.b.)이었다. 관입봉이 토양에 접촉하면서부터 하중이 증가하여 일정속도로 설정깊이까지 관입하도록 하였으며 그때 걸리는 하중을 측정하였다. 경도 측정장치가 관입 봉을 관입할 때와 적출할 때 올바르게 작동 하는지와 관입력을 정확히 측정하는가에 주안점을 두어 성능실험을 실시하였다. 또한, 토양경도 측정은 그림 6과 같이 폭 2m, 길이 15m의 토양을 가로간격 0.28m,

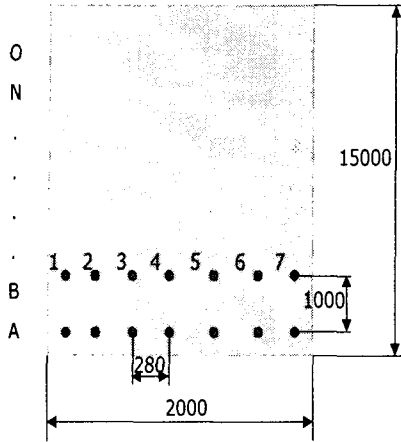


Fig. 6. Schematic diagram of the performance test bed of system

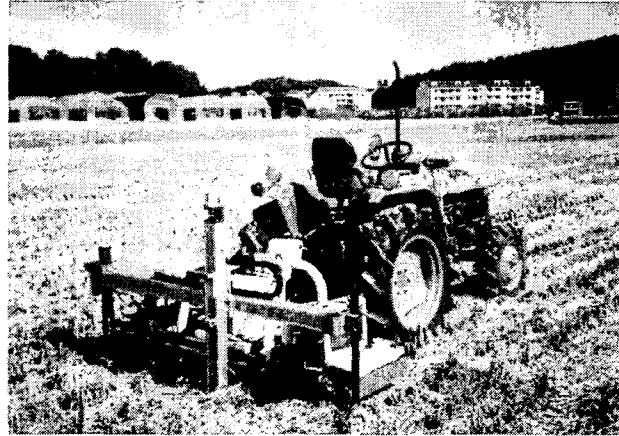


Fig. 7. Photo of performance test of system for measuring soil hardness

세로간격 1m로 총 105부분의 토양경도를 측정하였으며, 그에 따라 측정된 데이터로 분석을 실시하였다. 그림 7에 성능실험을 하고 있는 자동 토양경도 측정 시스템을 나타내었다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 토양경도 측정부 캘리브레이션 결과

본 연구의 토양경도 측정부의 캘리브레이션 결과가 그림 9에 나타나있다. 이미 알고 있는 분동을 경도 측정부의 로드셀에 걸어 놓아 들어오는 전기적인 값을 회귀분석에 의해 나타내었다.

$$Y = 0.0246 \times X - 3.9121$$

$$R^2 = 0.9999$$

where, Y = weight (kgf)

X = Measured data

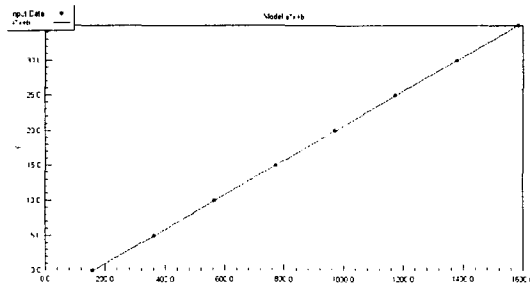


Fig. 9. The result of calibration of measuring part of system

#### 나. 자동 토양경도 측정 시스템 성능실험 결과

##### ① 시스템 동작성능

본 연구는 실외포장에서 토양경도를 측정하는 시스템을 개발하는 연구로서 시스템의 작동에 필요한 전원을 트랙터의 12V 배터리로부터 220V로 인버터하는 파워인버터를 장착하여 실험에 사용하였다. 실험 결과 전원공급에는 이상이 없었으며, 과부하에 의한 시스템의 이상현상도 없었다.

토양경도 측정시 토양속에 돌이나 이물질 층이 형성되어있는 경우에 큰 페니트로메타가 관입하다가 큰 관입저항 때문에 관입저항 한계설정치까지 가기전 더이상 관입을 못하는 경우가 발생하였을때 관입힘에 의해 측정 시스템이 들리는 현상이 나타났으며, 이는 시스템과 트랙터와의 연결부 유격에 의한 현상으로 판단하였다. 따라서, 이러한 현상을 막기 위해서는 트랙터와의 연결부 유격을 줄여 들리는 현상을 방지하거나 시스템에 로드롤을 걸어 들리는 현상을 방지할 수 있을 것이라 사료된다.

또한, 데이터 입력시 전원공급을 위해 트랙터 시동을 ON 상태로 놓아, 트랙터의 진동에 의해 측정부가

진동하여 측정 데이터에 노이즈가 발생하는 현상이 나타났다. 이는 토양경도 측정 시스템이 단지 트랙터에만 연결되어있어 발생하는 현상이라 사료되며, 이를 방지하기 위해서는 시스템의 하부에 캐스터나 다른 토양에 접하는 부분을 장착하면 트랙터의 떨림을 시스템에서 적절히 줄일 수 있을 것이라 사료된다.

② 토양경도 측정실험 결과

본 연구에서 개발된 트랙터 부착형 자동 토양경도 시스템의 성능실험결과를 그림 10, 11, 12, 13에 나타내었다. 그림 10에서는 임의의 관입점의 토양경도를 측정한 결과를 나타내었다. 그래프에서 보는바와 같이 관입심이 증가할 수록 관입저항이 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 수동으로 토양경도를 측정하였을 때보다 정교한 결과값이라 사료된다. 그림 11 및 표 2는 시스템으로 측정한 임의의 지점에서 일정 관입심별 각 관입점에서의 토양경도를 나타낸 것이다.

그림 12 및 13은 10cm, 15cm의 관입심에서 전체 시험포장의 토양경도를 나타낸 그래프이다. 그래프에

Table 2. The result of measuring soil hardness of C line by penetration depth (kgf/cm<sup>2</sup>)

penetration depth (cm)	point						
	1	2	3	4	5	6	7
5	0.17	0.11	0.23	0.18	0.40	0.20	0.23
10	1.11	0.67	0.83	1.03	1.41	1.07	1.02
15	1.57	1.63	1.34	1.45	1.58	1.82	1.63
20	2.00	2.13	1.75	1.82	1.96	2.49	2.45
25	3.02	2.52	2.93	3.96	4.74	5.50	4.12
30	8.00	7.09	9.10	11.71	11.31	11.35	10.03

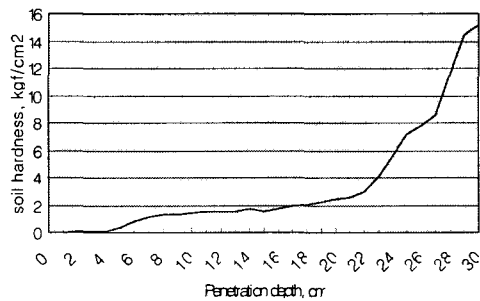


Fig. 10. The result of measuring soil hardness of c-3 point by penetration depth

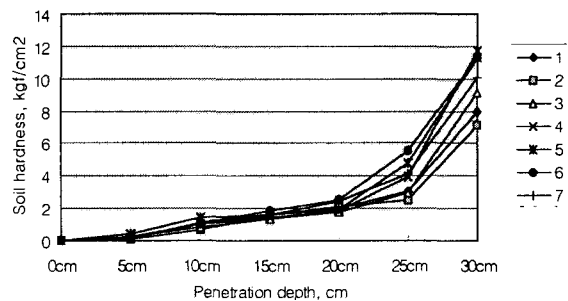


Fig. 11. The result of measuring soil hardness of c-line by penetration depth

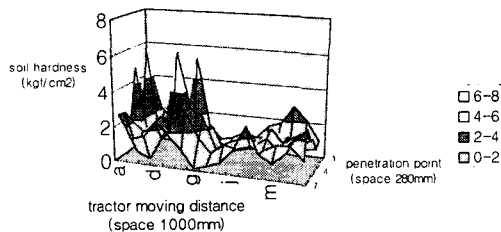


Fig. 12. The result of measuring soil hardness of 10cm depth

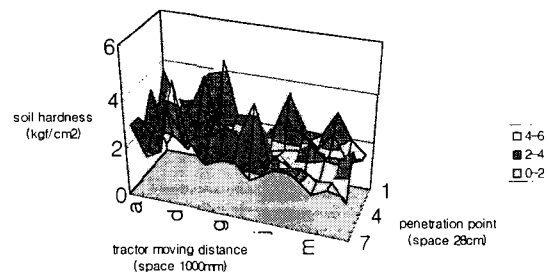


Fig. 13. The result of measuring soil hardness of 15cm depth

서 살펴보면 관입심이 깊을수록 시험포장 전체에서 대체적으로 토양경도가 높은 것으로 나타났으며, 토양속의 돌이나 이물질 등에 의해 경도가 급격히 증가하는 부분이 있는 것으로 사료되며 이러한 부분에서 로타리날의 마모량이 증가하고 소요에너지가 증가하는 것이라 사료된다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구는 트랙터 부착형 자동 토양경도 측정 시스템의 개발에 관한 연구로서, 우리나라 토양조건이나 작업형태에 맞는 에너지 절감형 트랙터 로타리날을 개발하기 위한 전단계 연구로서, 기존에 개발된 로타리날과 개량, 보완되어 개발될 로타리날의 성능을 비교 분석하기 위하여 수동 토양경도 측정기의 부정확성을 개량하여 측정의 정확성을 통한 동일 실험조건에서의 실험을 실시하고자 자동으로 작동되며 토양경도 측정을 할 수 있는 트랙터 부착형 자동 토양경도 측정 시스템을 개발하는데 목적이 있으며, 그 구체적인 연구 결과는 다음과 같다.

- (1) 시스템은 토양경도 측정부, 측정장치 구동부, 그리고 트랙터와의 연결부로 구성되었다.
  - (2) 시스템 작동에 필요한 전원공급을 트랙터 배터리에서 공급하였다.
  - (3) 토양경도 측정시 토양속에 돌이나 이물질 층이 형성되어있는 경우에 콘 페니트로메타가 관입하다가 큰 관입저항 때문에 관입저항 한계설정치까지 가기전 더이상 관입을 못하는 경우가 발생하였다.
  - (5) 성능실험시 관입심이 깊을수록 시험포장 전체에서 대체적으로 토양경도가 높은 것으로 나타났으며, 토양속의 돌이나 이물질 등에 의해 경도가 급격히 증가하는 부분이 있는 것으로 사료된다
- 이상의 결과에서 살펴보면 본 시스템은 토양경도 측정에 적절하다고 사료된다.

#### 5. 참고문헌

1. 김기대. 1986. 트랙터 로타리 경운부의 설계이론 연구와 그 CAD에의 응용. 일본구주대학 박사학위논문
2. 김성래. 1988. 기계 이양담의 쇄토 정지용 로우터리 날의 개발. 과학재단 연구보고서
3. 장익주. 1980. 스트레인 게이지를 이용한 토양경도계의 개발. 경북대학교 대학원
4. ASAE standard : ASAE S313.3 FEB99. Soil Cone Penetrometer. 2000
5. Ohmiya, K. 1998. Cone resistace measuring system. JSAM Vol. 60(5) : 126-129
6. Hendrick, J. G. and W. R. Gill. 1971. Rotary tiller design parameters part I - Direction of rotation. Transaction of the ASAE : 669-674
7. Hendrick, J. G. and W. R. Gill. 1971. Rotary tiller design parameters part II - Depth of tillage. Transaction of the ASAE : 675-678