

## 트랙터 부착형 자동 토양경도 측정 시스템 개발

### Development of an Automatic Soil Hardness Measuring System Mountable on Agricultural Tractors

이현동	김기대	김찬수	김성환
정회원	정회원	정회원	
H. D. Lee	K. D. Kim	C. S. Kim	S. H. Kim

#### ABSTRACT

In this study an automatic soil hardness measuring system mountable on agricultural tractors was developed to improve the accuracy of manual soil hardness testers by a constant penetrating rate, right direction of the cone-penetrometer and the isolation of vibration from the operator. This was necessary to supply similar experimental condition for performance test of new model and comparative experiment. The results of the study are summarized as follows;

1. The system consisted of a sensing part of soil hardness, a driving part of the measuring system and an attaching part between the tractor and the measuring system.
2. The allowable limit value of the system developed was set to 392N to protect from breaking the serve motor and the coupling used in this system.
3. The driving shaft penetrated into soil by 0.3m to measure soil hardness. The soil hardness was measured at the depth of 0.3m from the soil surface but the penetrating work was stopped and the driving shaft was pulled out to protect the system when the value of the soil hardness was too big on foreign substances like stones or straws.
4. Two values measured by automatic measuring system developed in this research and manual penetrometer were compared by statistics hypothesis testing method. When two people measured the soil hardness at the depth of 0.1 and 0.15m by manual cone penetrometer, there was no relationship between two values by two people but the values at the same depths by automatic measuring system developed showed similarity. The automatic system, therefore, developed in this research was proper for measuring soil hardness.

**Keywords** : Soil hardness, Automatic measuring, Tractor attached.

---

This study was conducted by the research fund supported by Agricultural R&D Promotion Center (ARPC). The article was submitted for publication in October, reviewed in November, and approved for publication by the editorial board of KSAM in December 2002. The authors are K. D. Kim, Professor, H. D. Lee, S. H. Kim, Reaseach Assistant, Agricultural Machinery Engineering, Chungnam National Univ., Daejeon, Korea. and C. S. Kim, Director of Manufacturing & Technology, N.S.T. Cooperation, Nonsan, Chungnam, Korea. The corresponding author is K. D. Kim, Professor, Dept. of Agricultural Machinery Engineering, Chungnam National Univ., Daejeon, 305-764, Korea, Fax: +82-42-822-6716. E-mail : <kdkim@cnu.ac.kr>

## 1. 서 론

우리 나라의 주요 농기계 보급량을 살펴보면, 2000년 현재 동력경운기 90만대, 농용 트랙터 19만대, 관리기 38만대, 그리고 콤바인 9만대 등으로 거의 대부분 노외기계가 보급되어 있는 실정이다. 노지에서 농기계를 사용할 경우, 노지의 상태가 농기계의 특성 및 성능에 큰 영향을 미치며, 특히 토양의 경도는 각종 노외기계의 주행과 포장작업에 큰 영향을 미치고 있다(박 등, 1977).

노지의 경운작업의 경우, 플라우 경운과 로타리 경운으로 크게 나누어 볼 수 있는데, 경운작업을 실시할 경우 토양경도에 따라 경운부하가 달라지기 때문에 경운시 소요되는 소요 에너지의 차이를 가져올 수 있다(장, 1980). 또한 노외기계의 주행에 있어서도 주행 바퀴의 성능 또한 토양경도에 따라 다르게 나타날 수 있다. 토양경도를 측정하는 방법으로는 콘 페니트로메터를 이용한 수동식 토양경도 측정기를 사용하는 것이 대부분이며, 이는 일정하지 않는 관입속도, 부정확한 관입방향, 수동식에 따른 측정자에게서 전달되는 진동 등으로 측정값의 부정확성을 가져온다. 이러한 부정확한 측정값은 새로운 기계를 시험하거나 비교시험을 실시할 때 동일 시험조건을 만들어주지 못하기 때문에 정확한 비교 시험을 할 수 없게 만든다. 현재까지의 디지털 토양경도 측정기의 개발현황을 살펴보면 Miyazawa(1986) 등은 휴대용 컴퓨터를 부착한 콘형 토양경도 측정기를 개발하였으며, Sawamura(1988) 등은 휴대용 컴퓨터를 부착한 판형 토양경도 측정기를 개발하여, 수동형의 디지털 형으로의 변형을 가져왔다. 자동으로 토양경도를 측정하는 시스템으로는 Ohmiya(1998) 등이 개발한 트랙터에 부착시키며 3축 이동이 가능토록 하여 토양경도를 측정하는 시스템을 개발한 것이 있으나 이는 트랙터에 부착하였다 하더라도 기동성이 현저히 저하되고, 구조가 복잡하여 실제 시험에 사용하기에 부적합하다고 판단되었다.

이에 본 연구에서는 지금까지의 토양경도 측정 장치의 부정확성 및 기동성을 개선하여 트랙터 부착형 자동 토양경도 측정 시스템을 개발했으며, 그 구체적인 연구 목적은 다음과 같다.

- (1) 수동형 토양경도 측정기를 보완한 트랙터

- 부착형 자동 토양경도 측정 시스템을 개발하고,
- (2) 개발된 시스템의 성능시험을 실시한다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 공시재료

본 연구에서 사용된 공시 트랙터는 대동공업(주)에서 제작 생산한 22마력 트랙터이다. 비교적 소형이나 기동성과 개발된 자동 토양경도 측정 시스템의 부착성이 용이하기에 본 시험에 사용하였다. 개발된 시스템의 성능 검증을 위해 공인된 수동형 토양경도 측정기와의 측정치 비교 시험시 사용한 기기로는 Spectrum Technologies, Inc社의 디지털형 Soil Compaction meter(침출깊이 0.45 m)를 사용하였다. 또한, 본 연구에서 개발된 시스템의 성능시험은 충남대학교 농업생명과학대학 부속농장 시험포장에서 실시하였으며, 시험포장의 평균 함수율은 약 33%(d.b.)이었다.

### 나. 하드웨어 설계

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

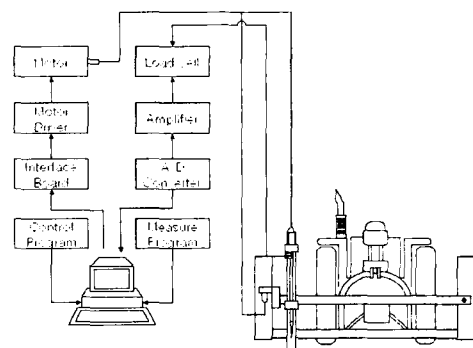


Fig. 1 Schematic diagram of a tractor-attached automatic soil hardness measuring system.

Table 1 Hardware components used for the automatic soil hardness measuring system

Components	Specification
Servo Motor	200W, 400W, 100V,
Motor Driver	200W, 400W, 100V, 50/60Hz
Motor Interface Board	2 axes control, I/O 8 channels
Load cell	Limit 100 kgf
A/D Convertor	Input 1 channel, DO 4 channels
Actuator	1,600 stroke, 700 stroke
PC	Pentium II
Inverter	In DC 12V, Out AC 220V

먼저, 자동 토양경도 측정 시스템의 경도 측정부는 로드셀을 이용한 힘의 측정 원리를 사용하였다. 경도 측정부에 연결된 관입봉이 관입을 할 때 봉이 받는 힘을 로드셀로 측정함으로써 그때 측정된 큰 저면의 면적당 저항력을 토양경도라 칭하였다. 로드셀에서 들어오는 전기적 신호를 디지털 신호로 변환하기 위해 자체 개발한 A/D 컨버터를 사용하였다. 9.53 mm 직경의 관입봉 끝에 장착된 큰 은 정각이 30°이며 저면의 면적이 130 mm<sup>2</sup>(저면 직경 12.83 mm)의 원추형 콘을 사용하였으며(ASAE, 2000), 그림 2에 토양경도 측정부를 나타내었다. 측정장치 구동부는 2축 액츄에이터를 사용하였으며, 액츄에이터의 구동은 일본 PANASONIC社의 AC servo motor를 사용하였다. 모터 구동을 하기 위해 모터에 펄스를 제공하는 모터 드라이버, 컴퓨터에서 나오는 신호를 모터드라이브에 전달하는 모터 인터페이스 보드, 그리고 컴퓨터로 구성하였다. 액츄에이터를 사용하여 트랙터 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. 시스템의 구동은 트랙터의 유압시스템을 사용할 경우 정밀 제어 및 측정에 부적합하므로, 차량용 축전지에서 AC 220V를 발생시킬 수 있는 인버터를 트랙터에 장착하여 시스템의 구동에 필요한 전원을 공급하였다. 그림 3에 토양경도 측정장치 구동부를 나타

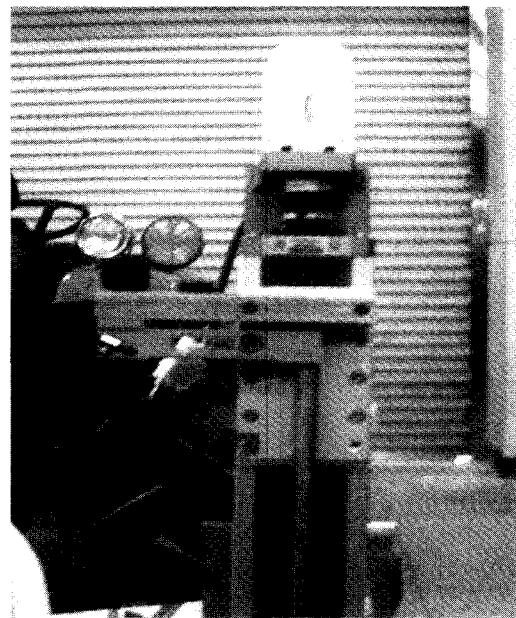


Fig. 2 A view of sensor part for measuring soil hardness.

냈다. 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. 그

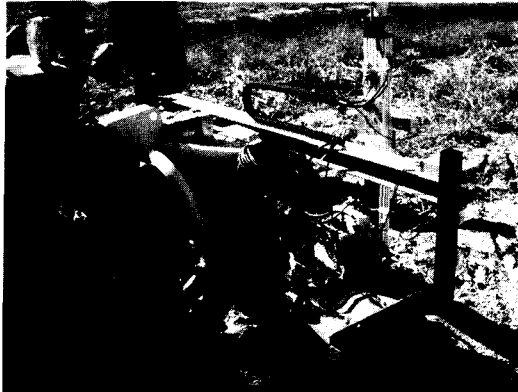


Fig. 3 A view of driving part of the measuring system.

림 4는 트랙터와의 연결부를 나타낸 것이다.

#### 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 0.03 m/s로 설정하였으며(ASAE, 2000), 경도가 크거나 토양 내부에 돌이나 이물질 등에 의해 관입봉이 토양내부로 관입 되지않아 관입력이 392N 이상의 힘이 걸릴 경우에는 모터 및 커플링 등 시스템의 안정성을 고려하여 관입을 중지하고 봉을 적출하도록 프로

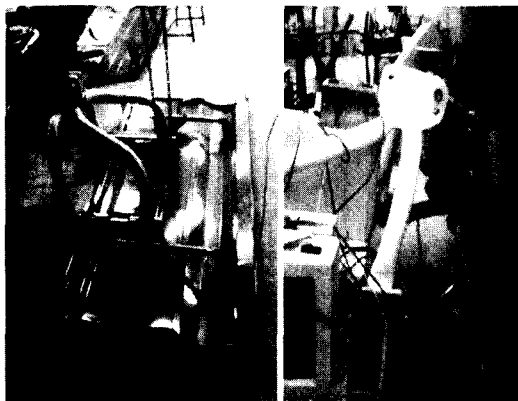


Fig. 4 A view of Photo of attaching part of the measuring system.

그래밍 하였다. 또한 토양경도 측정은 가로방향으로 0.28 m마다 한 번씩 7번 경도를 측정할 수 있도록 하였으며, 7번의 측정이 끝나면 트랙터가 일정간격 전진하여 다시 경도를 측정할 수 있도록 하였다. 그림 5는 본 연구에 사용된 제어 프로그램의 흐름도를 나타낸 것이다.

#### 라. 자동 토양경도 측정 시스템 성능시험

본 연구에서 개발된 트랙터 부착형 자동 토양경도 측정 시스템은 컴퓨터의 제어에 의해 모든 동작과 계측이 이루어진다. 따라서 실제 포장에서 성능 시험을 실시하여 시스템의 성능을 측정하였고, 측정된 데이터를 이용하여 토양의 경도를 나타내었다.

관입봉이 토양에 접촉하면서부터 관입력이 증가하여 일정속도(0.03 m/s)로 설정 깊이(0.3 m)까지 관입하도록 하였으며 그때의 관입력을 측정하였다. 경도 측정장치가 관입봉을 관입할 때와 적출할 때 올바르게 작동 하는지와 관입력을 정확히 측정하는

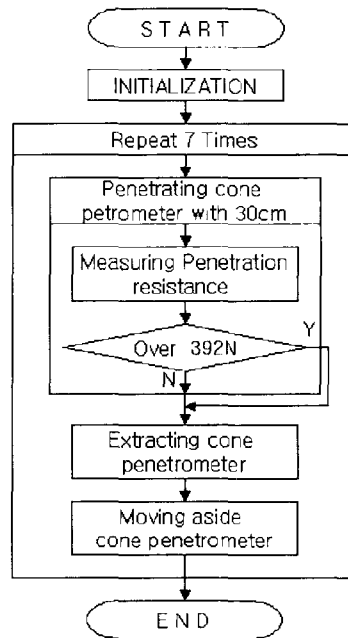


Fig. 5 The flow-chart of the system control for measuring soil hardness.

가에 주안점을 두어 성능시험을 실시하였다. 또한, 토양경도 측정용 그림 6과 같이 폭 2 m, 길이 15 m의 토양을 가로 간격 0.28 m, 세로 간격 1 m로 총 105부분의 토양경도를 측정하였으며, 그에 따라 측정된 데이터로 분석을 실시하였다. 성능시험 결과분석은, 본 시스템을 이용하여 측정된 토양경도 측정값과 Spectrum Technologies, Inc社의 Soil Compaction meter의 수동형 토양경도 측정기를 이용하여 측정된 토양경도 측정값을 비교 분석하여 성능을 검증하였다. 최초 수동형으로 측정자 2인이 테스트 베드의 인접 관입점(반경 0.02 m内)에서 경도를 측정하여 관입깊이 0.10m, 0.15m에서 각각 측정된 두 데이터를 비교함으로써 수동형으로 측정하였을 때의 토양경도 측정의 정확성을 판단하였고, 다음으로 개발된 시스템을 이용하여 동일한 방법으로 2회 측정하여 얻어진 데이터를 분석하여 시스템을 통한 토양경도 측정의 정확성을 판단하여 시스템의 성능을 검증하였다. 그림 7에 성능시험을 하고 있는 자동 토양경도 측정 시스템을 나타내었다.

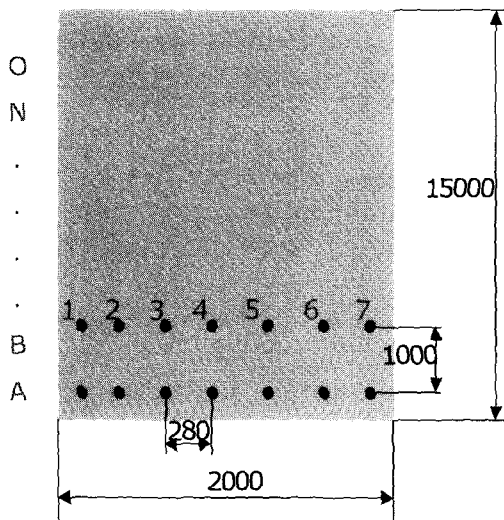


Fig. 6 Performance test bed.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 토양경도 측정부 캘리브레이션 결과

본 연구의 토양경도 측정부의 캘리브레이션 결

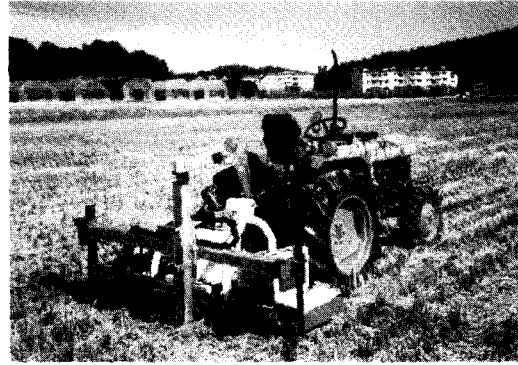


Fig. 7 A view of performance test of the measuring system.

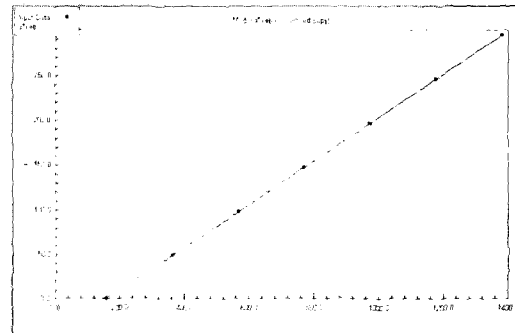


Fig. 8 Calibration chart for the load cell.

과가 그림 8에 나타나 있다. 이미 알고 있는 분동을 경도 측정부의 로드셀에 올려놓아 들어오는 전기적인 값을 회귀분석에 의해 나타내었다.

$$Y = 0.241 \times X - 38.364$$

$$R^2 = 0.9999$$

where, Y = weight (N), X = Measured data

#### 나. 자동 토양경도 측정 시스템 성능시험 결과

##### (1) 시스템 동작성능

본 연구는 포장에서 토양경도를 측정하는 시스템을 개발하는 연구로서 시스템의 작동에 필요한 전원을 트랙터의 12V 배터리로부터 220V로 변환하는 파워 인버터를 장착하여 시험에 사용하였다. 시험결과 전원공급에는 이상이 없었으며, 과부하

에 의한 시스템의 이상 현상도 없었다.

토양경도 측정시 토양속에 돌이나 이물질 층이 형성되어있는 경우에 콘 페니트로메타가 관입하다가 큰 관입저항 때문에 관입저항 한계 설정치까지 가기전 더 이상 관입되지 못하는 경우가 발생하였을 때 관입력에 의해 측정 시스템이 들어 올려져 뜨는 현상이 발생하였으며, 이는 시스템과 트랙터와의 연결부 유격에 의한 현상으로 판단하였다. 따라서, 이러한 현상을 막기 위해서 트랙터와의 연결부 유격을 줄이고 시스템에 로드를 걸어, 들어 올려져 뜨는 현상을 방지하였다.

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 현상이나 사료되었으며, 이를 방지하기 위해서 시스템의 하부에 캐스터를 부착하여 포장에 접촉하므로써 시스템의 진동현상을 방지하였다.

(2) 토양경도 측정시험 결과

본 연구에서 개발된 트랙터 부착형 자동 토양경도 측정 시스템의 성능시험 결과를 그림 9, 10, 11 및 표 2, 3에 나타내었다. 그림 9에서는 임의의 관입점의 토양경도를 측정한 한 예를 나타내었다. 그래프에서 보는바와 같이 관입 깊이가 증가할 수록 토양경도가 증가하는 것으로 나타났으며, 토양경도가 급격히 증가하는 현상도 나타났는데, 이는 토양속의 돌이나 이물질 등에 의한 관입저항의 증가로 인한 것으로 사료된다. 그림 10 및 표 2는 수동형 토양경도 측정기로 관입깊이 0.10, 0.15 m에서 측정된 토양경도 값을 나타낸 것이고, 그림 11 및 표 3은 자동 토양경도 측정 시스템으로 관입깊이 0.10, 0.15 m에서 측정된 토양경도 값을 나타낸 것이다. 표 4에는 토양경도 측정 시스템의 검정결과를 나타내었다.

먼저, 수동형으로 2인이 측정자를 달리하여 인접 관입점에서 2회 토양경도를 측정하였고, 측정된 데이터를 이용하여 통계적 가설검정을 실시하였다. 검정결과 0.1m 관입깊이의 경우 1회, 2회의 토양경도 표본평균, 표본 편차 값은 각각 4.736, 14.698로 나타났으며, 검정통계량  $t_0$ 의 값이 3.302

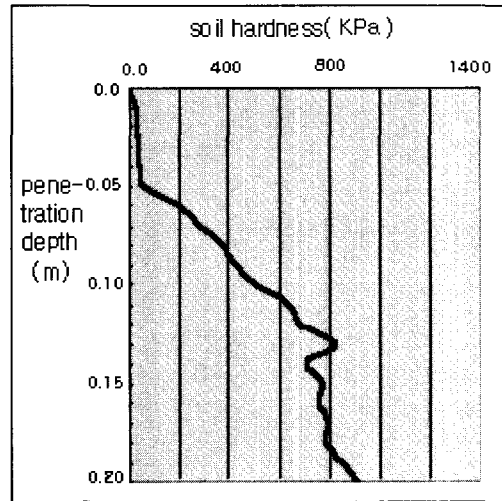


Fig. 9 The example of measuring soil hardness by penetration depth with automatic device.

로 나타나 t-분포표 결과인  $t(104, 0.1)$ 의 값 1.658 보다  $t_0$ 의 절대값이 크게 나타나므로 두 데이터간의 유사성이 존재하지 않는 것으로 분석되었다. 0.15m의 관입깊이의 경우 1회, 2회의 토양경도 표본평균, 표본 편차 값은 각각 10.484, 56.196 으로 나타났으며, 검정통계량  $t_0$ 의 값이 1.912 로 나타나 t-분포표 결과인  $t(104, 0.1)$ 의 값 1.658 보다  $t_0$ 의 절대값이 역시 크게 나타나므로 두 데이터간의 유사성이 존재하지 않는 것으로 분석되었다.

다음으로, 개발된 시스템을 통한 토양경도 측정 시험을 실시해본 결과를 살펴보면, 수동형과 마찬가지로 인접 관입점에서 2회 토양경도를 측정된 데이터를 이용하여 통계적 가설검정을 실시하였다. 검정결과 0.1m 관입깊이의 경우 1회, 2회의 토양경도 표본평균, 표본 편차 값은 각각 5.908, 48.850으로 나타났으며, 검정통계량  $t_0$ 의 값이 1.240으로 나타나 t-분포표 결과인  $t(104, 0.1)$ 의 값 1.658 보다  $t_0$ 의 절대값이 작게 나타나므로 두 데이터간의 유사성이 존재하는 것으로 분석되었다. 0.15m의 관입깊이의 경우 1회, 2회의 토양경도 표본평균, 표본 편차 값은 각각 1.584, 55.894로 나타났으며, 검정통계량  $t_0$ 의 값이 0.290으로 나타나 t-분포표 결과인  $t(104, 0.1)$ 의 값 1.658 보다  $t_0$

Table 2 The result of measuring soil hardness with man-made device (KPa)  
 (a) penetration depth 0.10m, 1st time, (b) penetration depth 0.10m, 2nd time  
 (c) penetration depth 0.15m, 1st time, (d) penetration depth 0.15m, 2nd time  
 (a)

	a	b	c	d	e	f	g	h	l	j	k	l	m	n	o
1	193.82	267.90	50.58	3.78	295.40	56.45	314.35	118.67	438.81	27.90	75.40	66.10	88.28	183.56	62.23
2	368.42	28.71	17.20	71.43	42.80	37.67	16.36	271.24	176.75	67.09	12.54	83.05	322.60	39.70	31.74
3	175.43	84.49	81.67	91.88	288.50	53.94	13.13	74.86	67.76	82.92	96.23	80.68	94.47	75.74	226.81
4	319.53	162.11	187.03	91.67	103.13	13.13	73.80	0.68	98.49	197.96	87.37	166.24	73.45	176.81	78.77
5	117.64	53.45	69.91	103.56	449.83	160.79	221.99	44.33	402.16	192.47	92.26	120.02	87.28	75.40	214.87
6	92.65	4.87	156.21	101.37	241.61	483.41	3.40	40.80	72.10	95.15	411.52	97.71	204.82	39.64	63.90
7	146.47	75.45	362.32	310.80	77.65	17.37	72.09	43.67	304.40	111.20	236.89	99.04	187.38	36.89	193.81

(b)

	a	b	c	d	e	f	g	h	l	j	k	l	m	n	o
1	194.38	261.73	64.17	14.75	286.73	98.44	285.77	126.06	69.50	43.54	86.73	78.27	417.10	185.05	74.75
2	353.11	44.29	33.82	83.12	57.09	293.27	12.40	264.76	42.12	79.17	29.58	93.68	178.87	54.27	47.04
3	177.66	94.99	92.43	101.71	262.27	104.06	15.34	86.24	67.21	93.56	105.67	91.53	79.78	87.04	224.37
4	308.66	165.55	188.21	101.52	111.93	84.95	85.27	18.80	30.12	198.14	97.61	169.31	107.71	178.92	89.79
5	125.13	66.77	81.74	112.32	427.12	97.53	219.99	58.48	164.35	193.15	102.05	127.29	383.78	86.73	213.51
6	102.41	13.76	160.19	110.34	237.83	277.11	21.27	55.28	421.29	104.68	392.29	107.01	83.73	54.22	76.27
7	151.34	86.77	329.38	300.73	88.77	188.53	83.72	55.76	33.97	119.27	233.53	108.22	294.91	16.26	194.37

(c)

	a	b	c	d	e	f	g	h	l	j	k	l	m	n	o
1	243.24	250.81	118.22	154.37	332.81	222.44	88.44	221.07	519.89	230.21	91.27	87.85	302.07	224.28	237.12
2	92.27	259.13	229.61	109.37	118.37	242.62	204.47	278.09	246.08	271.09	259.15	444.37	104.31	398.79	317.87
3	224.70	246.91	237.12	119.11	272.19	236.77	227.65	409.88	218.77	231.00	204.47	227.27	231.55	90.27	209.07
4	319.69	214.93	169.07	114.27	443.39	76.63	229.77	298.21	240.79	338.33	224.21	231.46	227.04	233.28	99.91
5	212.69	88.44	666.27	243.24	128.99	218.92	245.75	104.21	88.37	402.22	231.70	454.37	423.78	117.91	228.56
6	97.27	254.01	116.91	145.59	271.16	159.71	27.59	226.37	229.61	449.27	390.44	280.55	23.67	132.27	234.29
7	238.95	96.24	106.05	319.83	218.37	159.32	237.61	253.71	204.47	113.89	214.93	230.39	298.90	121.74	218.07

(d)

	a	b	c	d	e	f	g	h	l	j	k	l	m	n	o
1	248.24	255.81	123.22	159.37	337.81	227.44	669.28	226.07	524.89	235.21	96.27	92.85	307.07	229.28	242.12
2	97.27	264.13	234.61	114.37	123.37	247.62	209.47	283.09	251.08	276.09	264.15	449.37	109.31	403.79	322.87
3	229.70	251.91	242.12	124.11	277.19	241.77	232.65	414.88	223.77	236.00	209.47	232.27	236.55	95.27	214.07
4	324.69	219.93	174.07	119.27	448.39	81.63	234.77	303.21	245.79	343.33	229.21	236.46	232.04	238.28	104.91
5	217.69	93.44	671.27	248.24	133.99	223.92	250.75	109.21	93.37	407.22	236.70	459.37	428.78	122.91	233.56
6	102.27	259.01	121.91	150.59	276.16	164.71	32.59	231.37	234.61	454.27	395.44	285.55	28.67	137.27	239.29
7	243.95	101.24	111.05	324.83	223.37	164.32	242.61	258.71	209.47	118.89	219.93	235.39	303.90	126.74	223.07

Table 3 The result of measuring soil hardness with automatic device (KPa)

(a) penetration depth 0.10m, 1st time, (b) penetration depth 0.10m, 2nd time

(c) penetration depth 0.15m, 1st time, (d) penetration depth 0.15m, 2nd time

(a)

	a	b	c	d	e	f	g	h	l	j	k	l	m	n	o
1	240.78	198.23	107.95	63.02	310.87	139.10	64.26	73.31	112.80	89.20	168.68	193.83	324.60	227.45	117.57
2	344.21	89.87	80.35	34.27	101.52	44.51	60.88	42.74	51.54	121.58	76.51	134.78	30.40	79.42	92.38
3	199.41	135.96	133.64	142.08	71.01	144.22	178.20	37.10	110.72	134.67	145.67	132.82	160.31	128.74	164.98
4	404.03	97.87	231.96	141.91	151.37	35.94	170.93	66.70	76.99	246.15	128.85	204.96	147.54	218.69	194.92
5	217.61	157.57	177.58	151.73	222.61	138.27	277.36	102.78	142.37	179.21	142.39	194.24	30.40	194.22	268.11
6	283.91	62.12	30.62	149.92	302.84	331.65	176.78	99.86	154.59	144.77	163.29	146.89	188.30	190.49	118.95
7	289.21	154.39	184.20	272.99	169.65	124.94	34.81	54.85	80.50	153.87	296.71	147.99	112.64	173.56	168.05

(b)

	a	b	c	d	e	f	g	h	l	j	k	l	m	n	o
1	206.92	198.44	99.13	49.71	291.26	133.40	97.09	116.70	193.19	78.51	165.93	193.60	218.69	230.58	109.71
2	197.11	79.25	68.78	18.08	92.05	29.35	47.36	65.70	37.08	114.13	64.54	128.65	13.83	67.75	82.00
3	199.73	129.95	127.39	136.67	58.50	139.03	176.41	92.18	102.18	128.52	140.63	126.49	156.72	122.00	161.86
4	301.06	88.04	175.54	136.48	146.90	19.92	168.40	53.76	65.08	251.15	147.10	205.84	142.68	220.94	194.79
5	114.74	153.71	175.73	147.29	195.15	132.49	285.49	93.45	186.33	177.52	137.02	194.05	330.48	194.03	275.30
6	108.85	48.72	14.07	145.30	214.76	345.20	174.85	90.24	150.43	139.64	160.01	141.97	187.52	189.93	111.23
7	122.58	150.21	183.00	280.67	216.73	193.19	110.81	107.87	68.93	149.64	306.76	143.18	104.30	171.30	165.25

(c)

	a	b	c	d	e	f	g	h	l	j	k	l	m	n	o
1	248.21	258.05	206.61	205.63	208.55	221.21	242.94	245.83	192.04	99.86	219.42	240.27	325.84	223.59	206.91
2	248.21	268.86	268.88	491.31	108.17	247.42	197.87	183.30	251.90	338.77	235.43	174.57	263.07	237.09	222.80
3	157.81	252.98	197.87	230.00	106.26	239.81	104.69	240.27	216.44	232.33	101.68	176.51	221.21	238.68	279.99
4	347.51	211.46	269.25	197.87	244.86	234.71	244.87	155.15	245.04	166.80	304.61	275.00	227.18	235.28	232.92
5	208.55	254.13	233.23	248.21	377.88	344.55	251.49	315.92	104.21	223.87	197.87	229.15	224.38	238.68	311.38
6	324.16	262.21	347.51	150.20	284.48	302.85	349.59	329.82	338.77	507.00	102.97	236.60	235.73	303.82	296.67
7	242.65	197.87	211.46	367.37	248.21	197.87	240.91	254.42	197.87	219.50	261.82	229.39	197.87	302.23	231.53

(d)

	a	b	c	d	e	f	g	h	l	j	k	l	m	n	o
1	253.42	264.24	250.80	206.58	209.79	223.72	247.62	221.75	191.63	90.23	207.65	207.99	338.81	226.34	244.69
2	253.42	276.13	182.02	559.96	99.37	252.55	198.04	239.36	257.48	293.22	276.16	225.46	269.76	241.19	172.41
3	153.98	258.67	244.69	233.39	97.27	244.18	95.55	92.23	218.47	235.95	198.04	288.37	223.72	242.94	174.55
4	362.64	212.99	151.05	198.04	190.25	477.58	249.74	315.46	249.93	163.87	276.57	236.60	230.29	239.20	282.89
5	209.79	259.93	193.19	253.42	396.05	218.69	257.02	198.04	95.02	226.65	236.94	322.91	227.21	242.94	232.45
6	336.96	268.82	343.19	145.61	293.32	313.52	364.94	93.65	353.03	489.35	212.80	306.72	239.69	314.59	240.65
7	247.31	198.04	260.25	384.49	253.42	198.04	245.39	268.39	198.04	221.84	212.99	235.07	198.04	312.84	232.72



트랙터 부착형 자동 토양경도 측정 시스템 개발

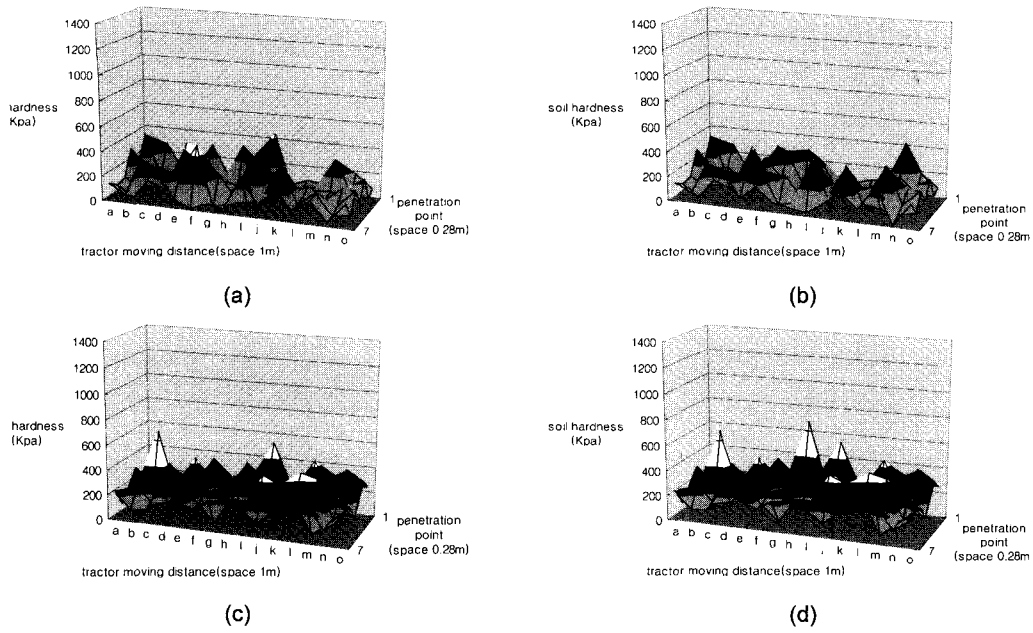


Fig. 10 The result of measuring soil hardness with man-made device (KPa).  
 (a) penetration depth 0.10m, 1st time, (b) penetration depth 0.10m, 2nd time  
 (c) penetration depth 0.15m, 1st time, (d) penetration depth 0.15m, 2nd time

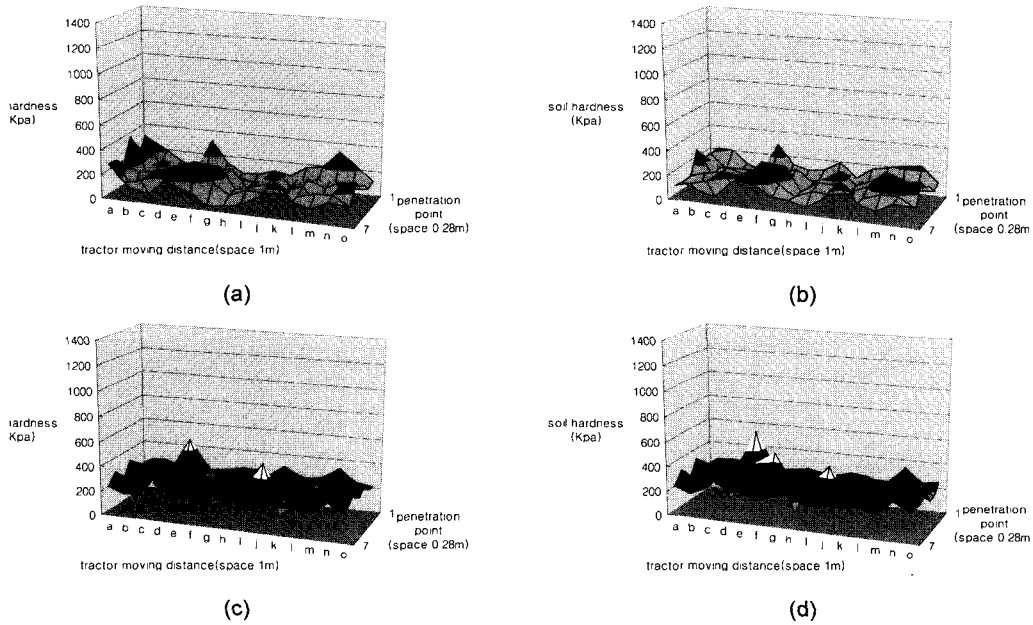


Fig. 11 The result of measuring soil hardness with automatic device (KPa).  
 (a) penetration depth 0.10m, 1st time, (b) penetration depth 0.10m, 2nd time  
 (c) penetration depth 0.15m, 1st time, (d) penetration depth 0.15m, 2nd time

Table 4 The result of statistics hypothesis testing

		Time	Mean	S.D.	Max.	Min.	$\bar{d}$	S <sub>D</sub>	t <sub>0</sub>	t(104, 0.1)
Man-made	0.10	1	133.71	111.49	483.41	0.68	-4.736	14.698	-3.302	1.658
		2	138.45	100.93	427.12	12.40				
	0.15	1	225.47	107.52	666.27	23.67	-10.484	56.196	-1.912	
		2	235.95	114.89	671.27	28.67				
Automatic	0.10	1	151.57	78.06	404.03	30.4	5.908	48.850	1.240	
		2	145.66	69.85	345.20	13.83				
	0.15	1	241.98	68.914	507.00	99.86	-1.584	55.894	-0.290	
		2	243.57	76.768	559.96	90.23				

의 절대값이 작게 나타나므로 두 데이터간의 유사성이 존재하는 것으로 분석되었다. 따라서 개발된 시스템으로 토양경도를 측정할 경우 정확한 토양경도를 측정할 수 있을 것이라 사료된다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구는 수동식 토양경도 측정기의 일정하지 않는 관입속도, 부정확한 관입방향, 수동식에 따른 측정자에게서 전달되는 진동 등으로 인한 측정값의 부정확성을 개선하여 새로운 기계의 시험이나 비교시험을 위한 동일 시험조건을 제공하는데 필요한 연구라 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 지금까지의 토양경도 측정장치의 부정확성 및 기동성을 개선하여 트랙터 부착형 자동 토양경도 측정 시스템을 개발했으며, 그 구체적인 연구 결과는 다음과 같다.

1) 시스템은 토양경도 측정부, 측정장치 구동부, 그리고 트랙터와의 연결부로 구성되었다.

2) 시스템은 서보모터 및 커플링의 안전성을 고려하여 392N을 허용안전한계로 설정하였다.

3) 시스템은 0.3m까지 토양에 관입하며 토양경도를 측정하였으며, 토양속의 이물질에 의한 허용안전한계 이상의 측정치가 계속될 때는 시스템의 안전을 고려하여 계측을 중단하고 관입봉을 직출하였다.

4) 수동형 토양경도 측정기와 개발된 자동 토양

경도 측정 시스템으로 측정된 토양경도 값을 통계적 가설검정으로 비교한 결과, 수동형의 경우 2인의 측정자가 0.1, 0.15m의 깊이에서 측정하였을 때 두 측정값의 유사성이 없게 나타났으나, 개발된 시스템의 경우 0.1, 0.15m의 깊이에서 2번의 측정 모두 유사성이 있는 것으로 나타나, 시스템이 토양경도 측정에 적합한 것으로 나타났다.

#### 참고 문헌

1. 박호석, 차관도. 1977. 토양수분과 경도가 동력 경운기의 견인성능에 미치는 영향. 한국농업기계학회지 Vol. 2(1):25-32.
2. 장익주. 1980. 스트레인 게이지를 이용한 토양경도계의 개발. 경북대학교 대학원.
3. ASAE standard : ASAE S313.3 FEB99. Soil Cone Penetrometer. 2000.
4. Miyazawa, F. and T. Yoshida. 1986. Development of conepenetrometer using the microcomputer. JSAM Vol. 48(2):247-251.
5. Sawamura, A., F. Miyazawa, J. Sato and N. Ishizuka. 1988. Development of plate penetrometer with the microcomputer. JSAM Vol. 50(1):91-96.
6. Ohmiya, K. 1998. Measurement and analysis of hardness II - Cone resistance measuring system-. JSAM Vol. 60(5):126-129.