

## 정밀 경운을 위한 원추지수 지도 작성

정병학 박영준 박해권 박서범 김경욱

### Mapping of Cone Index for Precision Tillage

B. H. Chong Y. J. Park H. K. Park S. B. Park K. U. Kim

#### Abstract

Precision tillage is designed to till lands variably according to their firmness. Therefore, it is necessary to measure soil firmness in fields and present it in a form with which the variable tillage can be performed. Such forms may be classified into two categories: sensor-based and map-based forms. The map-based approach appears to be inevitable until the technology develops high enough to secure the sensor-based approaches. The first step for map-based precision tillage may be to develop a tillage recommendation map.

In this study, a tractor-mountable automatic soil firmness measurement system was developed to construct a cone index map. The system is comprised of three ASAE Standard cone penetrometers and a hydraulic unit for controlling operation of the penetrometers. The system is designed to conduct stop-and-go measurements in fields. The measurements from the three penetrometers are transferred to a microcomputer and the average cone index was calculated. This average cone index was taken as soil firmness of the location where the measurement was made. The cone indices thus determined were used to construct a cone index map using the ArcView software. The system also displays the soil penetration resistance, cone index and soil depth as the cone penetrates into the soil. The field performance of the system was evaluated and the cone index maps at different depths were also presented.

: Cone index measurement, Cone index map, Tillage recommendation map

#### 1. 서론

경운은 작물 생산에서 에너지 소모가 가장 많은 작업 중의 하나이며 또한 토양 유실의 원인이 된다. 그러나 경운은 필수적이다. 토양 다짐은 작물의 뿌리 성장을 제한하며 수확량 감소의 원인이 되기 때문이다. 따라서 토양을 뿌리 성장, 가뭄 저항성, 토양 보존에 적합한 상태로 유지하면서 동시에 토양에 대한 충격과 경운 에너지를 최소화할 수 있는 경운 방법이 요구된다. 이러한 요구에 부응할 수 있는 방법으로서 최소 경운과 보존 경운(McCarthy, 1993)이 있으며, 정밀 경운 또한 현재의 문제점을 해결할 수 있는 방안의 하나로서 많은 관심

의 대상이 되고 있다.

정밀 경운은 포장 내 지역에 따라 필요한 깊이로 토양을 경운하는 것으로서 Wells 등(2000)은 정밀 심토 경운이 작물의 수확량을 증가시키고 경운 비용을 최소화할 수 있는 방법이라 하였으며, Raper(1999)는 정밀 경운으로 경운 에너지의 34%를 감소시킬 수 있다고 하였다. 또한 Fulton 등(1996)은 정밀 경운에 의하여 연료 소비량을 50% 감소시켰다고 하였다. 정밀 경운을 수행하기 위해서는 경운이 필요한 지역과 그 지역의 적정 경심에 대한 정보를 제공하는 경운 지도 또는 경운 계획 지도를 작성하여야 한다. 경운 지도는 원추지수 지도를 기본으로 작성되므로 경운 지도 작성에 앞서 포장의 토양 정도

측정과 원추지수 지도 작성이 선행되어야 한다(Khalilian et al., 2002).

따라서, 본 연구는 정밀 경운을 위한 연구의 한 부분으로서 토양 경도 측정 시스템 개발과 경운 지도 작성에 필요한 원추지수 지도 작성을 목적으로 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 토양 경도 측정 시스템

본 연구에서는 토양 경도를 토양이 단단한 정도로 정의하고, 원추지수로서 나타내었으며, 토양 경도를 측정하기 위하여 트랙터 부착형 토양 경도 측정 시스템을 개발하였다. 토양 경도 측정 시스템은 한 지점에서 트랙터가 정지하여 경도를 측정하고 다시 다른 지점으로 이동하여 측정할 수 있도록 하였다. 토양 경도 측정 시스템은 원추 관입 장치, 유압 장치, 제어 장치로 구성하였으며, 카테고리 1의 3점 히치로써 트랙터에 부착할 수 있도록 하였다. 그림 1은 트랙터에 부착된 토양 경도 측정 시스템을 나타낸 것이다.

#### 1) 기본 설계 조건

트랙터 부착형 토양 경도 측정 시스템의 기본 설계 조건은 다음과 같이 설정하였다.

- 최대 관입 저항 : 2450 N
- 최대 관입 깊이 : 450 mm
- 관입 속도 : 10, 30, 50 mm/s 선택
- 원추 형상 : ASAE 표준(ASAE, 2003)

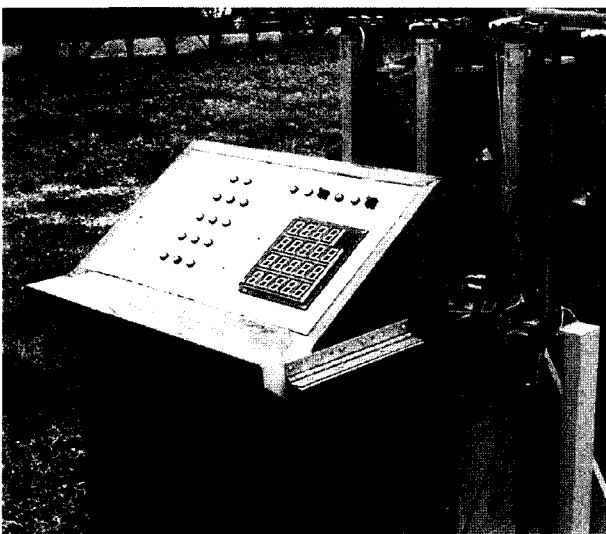


Fig. 1 A view of the tractor-mountable soil firmness measuring system.

### 2) 원추 관입 장치

원추 관입 장치는 토양에 원추를 관입하는 장치로서, 관입 깊이를 측정하기 위한 리니어 포텐쇼미터, 관입력을 측정하기 위한 로드셀, 원추를 관입하기 위한 유압 실린더로 구성하였다. 측정 시스템의 하부 프레임에 300 mm 간격으로 3개의 원추 관입 장치를 설치하였으며, 로드셀은 각 원추 관입 장치의 유압 실린더 하단에 부착하였다. 유압 피스톤이 하강할 때 원추에 작용하는 관입 저항을 로드셀로 측정하고, 동시에 관입 깊이를 리니어 포텐쇼미터로 측정할 수 있도록 하였다. 원추는 ASAE 표준 S313.3(ASAE, 2003)에 따라 제작하였다. 원추 관입 장치에 사용된 로드셀과 리니어 포텐쇼미터의 주요 제원은 표 1에서와 같다.

### 3) 유압 장치

유압 장치는 그림 2에서와 같이 1개의 3위치 4포트 방향 밸브, 3개의 ON/OFF 밸브, 3개의 유량 제어 밸브, 3개의 단독 유압 실린더, 1개의 릴리프 밸브로 구성하였으며, 유압 동

Table 1 Specifications of the used load cell and linear potentiometer

Instrument	Specifications
Loadcell	Max. pressure: 50 MPa Non-linearity: 0.1% Excitation voltage: 10~15 V Temperature: -20~80°C
Linear potentiometer	Max. displacement: 500 mm Error: 0.05% Limit velocity: 5 m/s Temperature: -30~100°C

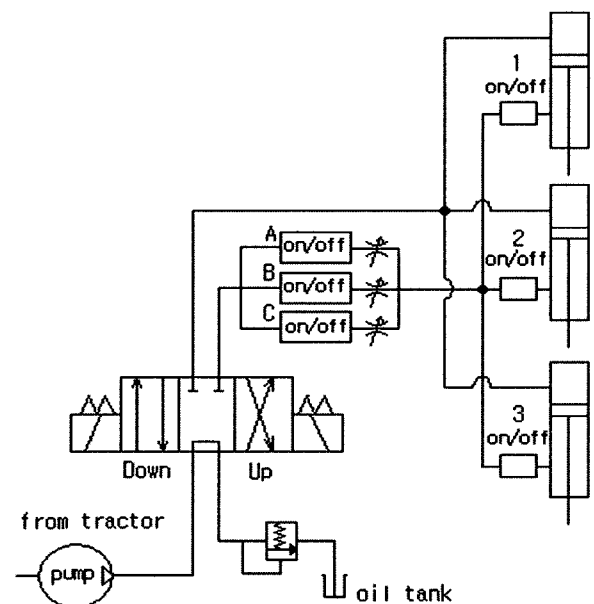


Fig. 2 Circuit of hydraulic control unit.

**Table 2** Specifications of instruments used for the hydraulic control unit.

Instrument	Specifications
Single-stroke cylinder	Displacement: 500 mm Inner diameter: 40 mm
3-position, 4-port directional control valve	Max. pressure: 25 MPa Max. frequencies: 15 CPM Temperature: 5~60°C
ON/OFF valve	Max. pressure: 25 MPa Max. frequencies: 15 CPM Temperature: 5~60°C
Flow control valve	Max. pressure: 10.5 MPa Flow rate: 0.03~2 L/min Temperature: 5~60°C
Relief valve	Pressure: 7~70 MPa Temperature: 5~60°C

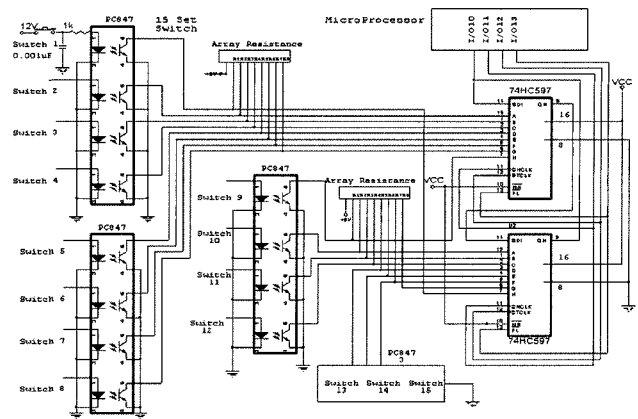
력은 트랙터의 원격 유압 동력을 이용하도록 하였다. 3위치 4포트 방향 밸브는 밸브의 위치에 따라 유압 실린더의 피스톤이 상승, 정지, 하강할 수 있도록 하였다. ON/OFF 밸브는 작동할 원추를 선택하기 위한 것으로서, 밸브가 ON 상태인 실린더에서만 원추가 작동할 수 있도록 하였다. 원추 관입 속도는 3개의 유량 제어 밸브로써 10, 30, 50 mm/s 중 하나를 선택할 수 있도록 하였다. 그러나 원추가 최대 관입 깊이에 도달한 후에는 3개의 밸브를 모두 열어 원추가 빠른 속도로써 초기 위치로 돌아갈 수 있도록 하였다. 유압 장치를 구성하는 유압 기기의 주요 제원은 표 2에서와 같다.

**4) 제어 장치**

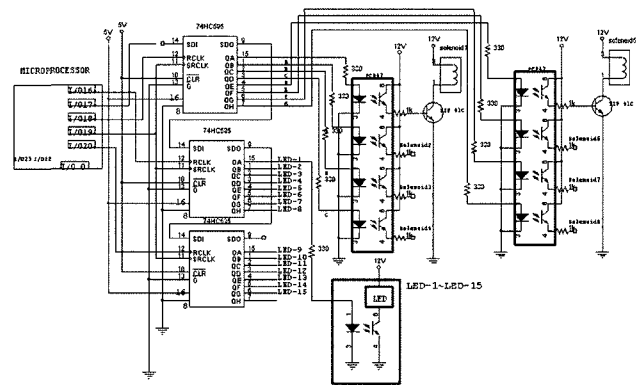
제어 회로는 입력부, 출력부, 전원부로 구성하였다. 입력부는 제어 판넬의 스위치 작동에 의해 인가된 PC817 칩의 신호를 입력 포트 확장 칩인 74HC597을 통하여 마이크로 프로세서로 전달하며, 출력부는 마이크로 프로세서에서 출력된 신호를 출력 포트 확장 칩인 74HC595를 통하여 PC817 칩으로 전달한 후, 출력 신호에 따라 스위치의 LED와 솔레노이드 밸브를 작동시킨다. 마이크로 프로세서로 전달된 명령은 작동 실린더, 최대 관입 깊이, 관입 속도, 실린더의 작동 모드를 선택하기 위한 것으로서 선택 내용은 다음과 같이 하였다.

- (1) 실린더 : 좌측, 중간, 우측
- (2) 최대 깊이 : 300, 400, 450 mm
- (3) 관입 속도 : 10, 30, 50 mm/s
- (4) 실린더 작동 : 상승, 정지, 하강

전원은 트랙터 배터리의 12V를 5V로 변환하여 사용하였으며, 제어 회로의 제어 프로그램은 Compile사의 Pic basic 언어를 사용하였다. 그림 3과 4는 각각 제어 회로의 입력부와



**Fig. 3** Input circuit of the controller.



**Fig. 4** Output circuit of the controller.

출력부를 나타낸 것이다.

과부하에 의한 측정 시스템의 파손을 막기 위하여 관입력이 2450 N 이상일 때는 원추의 관입을 정지하도록 하였다. 최대 관입력 내에서 관입 깊이와 속도에 따른 시스템의 오작동은 없었으며 제어 장치의 성능도 우수하였다.

**나. 토양 경도 측정**

개발한 토양 경도 측정 장치를 이용하여 수원시 서둔동에 위치한 서울대학교 실험 농장에서 토양 경도를 측정하였다. 측정 대상으로 한 실험 포장의 크기는 20x20 m이었으며, 미농무성 분류법에 의한 포장의 토성은 점토, 실트, 모래의 비율이 각각 9%, 51.2%, 39.8%인 미사질 양토(silt loam)이었다. 실험 포장은 매년 4월 말에서 5월 중순 사이에 경운한 이력이 있으며, 경도 측정은 벼를 수확한 후 19일이 경과한 2004년 10월 30일 오전에 실시하였다. 경도 측정 시 그림 5에서 표시된 포장 내 5 지점에서 시료를 채취하여 105°C. 오븐에서 24시간 건조한 후 측정된 토양의 평균 함수율은 21.5%(d.b.)이었다.

실험 포장을 가로 세로 각각 2 m 간격으로 나누어 그림 5에서와 같이 총 100개의 2x2 m 셀을 만들고 각 셀 내의 중앙 지점에서 3지점의 원추지수를 결정하여 그 평균값을 셀의 토양 경도로 나타내었다. 또한 각 측정 지점에서 원추의 관입 깊이에 따라 관입 깊이가 각각 5, 10, 15, 20, 25, 30 cm일 때의 토양 경도를 측정하였다. 측정 시 원추의 관입 속도는 30 mm/s, 최대 관입 깊이는 450 mm로 하였으며, 원추는 저면적이 130 mm<sup>2</sup>인 단단한 토양용 원추를 사용하였다.

토양 경도 측정은 다음과 같은 순서로 실시하였다.

- (1) 트랙터를 정차한 후, 3점 히치에 장착된 측정 시스템을 토양 표면에 내려 단단히 고정시킨다.
- (2) 작동시킬 유압 실린더, 최대 관입 깊이, 관입 속도를 지정한다.
- (3) 원추를 관입시켜 측정을 시작하고 관입 깊이와 관입력을 저장한다.
- (4) 최대 관입 깊이까지 측정이 끝나면 다음 측정을 위하여 원추를 원 위치시킨다.
- (5) 나머지 2개의 원추도 같은 순서로 작동시킨다.
- (6) 한 지점에서 경도 측정이 끝나면, 측정 시스템을 들어 올린 후, 다른 지점으로 트랙터를 이동하여 위의 과정을 반복한다.

측정한 원추 관입 깊이와 관입력은 데이터 수집 장치를 이용하여 노트북 컴퓨터에 저장하였다. 데이터 수집 장치와 노트북 컴퓨터의 전원은 1 kW 파워 인버터를 이용하여 12 V 트랙터 배터리 전원을 AC 220V로 변환하여 사용하였다.

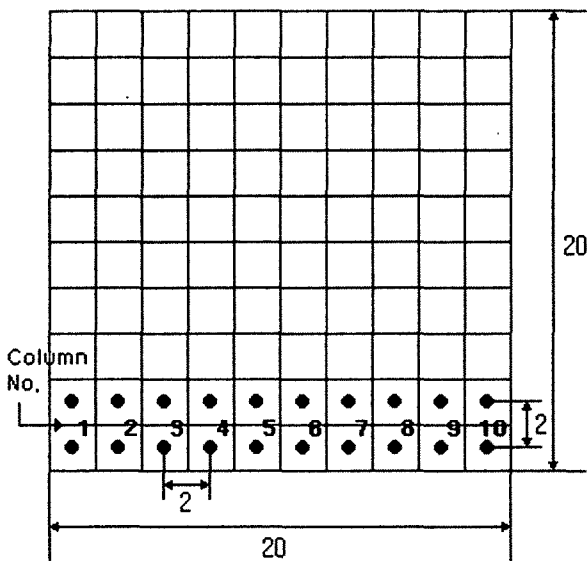


Fig. 5 Soil firmness measurement scheme in the experimental field.

#### 다. 원추지수 지도

측정한 관입 깊이별 관입력을 이용하여 원추 지수를 구하였으며, ArcView(ESRI, 1997)를 이용하여 깊이별 원추지수 지도를 작성하였다. 그림 6에서와 같이 정사각형 실험 포장의 4 꼭지점 좌표를 Text 파일로 저장하고, 각 측정 지점의 좌표와 각 지점의 원추지수를 그림 7에서와 같은 형식으로 Text 파일에 저장하였다. 이 때 측정 지점 좌표는 실험 포장 좌표인 (0,0), (0,20), (20,0), (20,20)을 고려하여 각 측정 셀의 중간 지점인 (1,1), (1,3), (1,5) ...로 나타내었다.

ArcView를 이용한 원추지수 지도 작성 절차는 다음과 같은 순서로 하였다.

- (1) 실험 포장의 좌표가 저장된 Text 파일을 shapefile로 변환하여 View 창에 추가한다. shapefile은 보간 범위를 나타내기 위한 것이다.
- (2) 측정 지점의 좌표와 원추지수가 저장된 Text 파일을

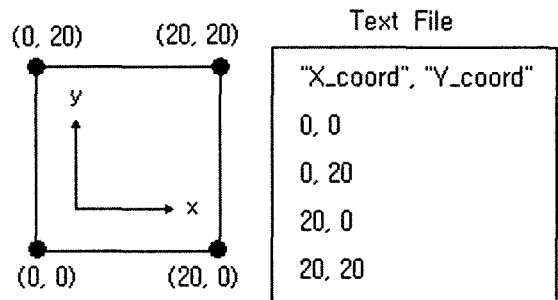


Fig. 6 Field coordinates for cone index mapping.

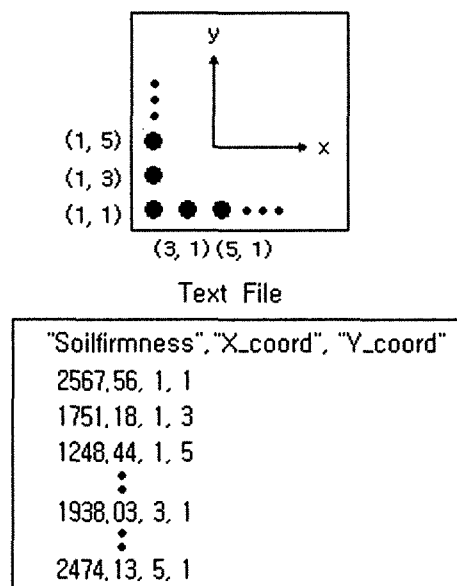


Fig. 7 Example of a text file of cone index data and cell coordinates for mapping.

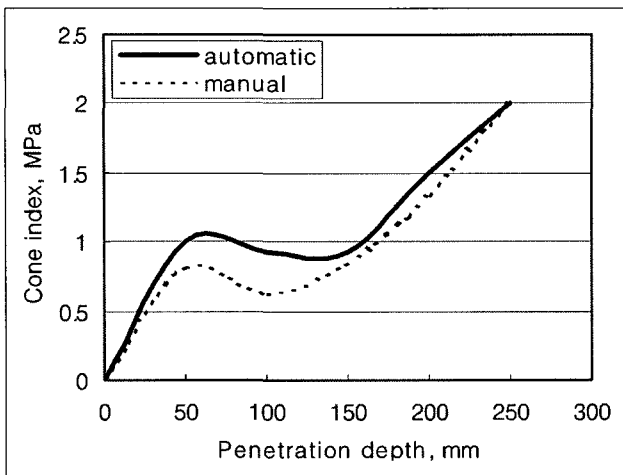


Fig. 8 Comparison of cone index determined by the developed and a commercial SR-2 cone penetrometers.

View 창에 추가한다.

- (3) Kriging 기능을 이용하여 각 측정 지점 사이의 보간을 실시한다. 본 연구에서 쓰인 Kriging 보간법은 토양 보간에 널리 쓰이는 방법이다.
- (4) 원추지수의 표시 범례는 원추지수의 최소값과 최대값의 차이를 등간격으로 나누어 정한다. 본 연구에서는 0~4.5 MPa 범위의 원추지수를 0.5 MPa 간격으로 나누어 총 9수준으로 구별하였다.

그림 8은 좌표가 (1,1)인 지점에서 토양 경도 측정 시스템으로 결정한 원추지수와 SR-2(Daiki, 1998) 수동형 원추 관입기를 이용하여 결정한 원추 지수를 비교하여 나타낸 것이다. 수동형 원추 관입기의 경우에는 관입 속도가 일정하지 않았기 때문에 이에 따른 오차가 발생한 것으로 판단된다. 그러나 관입 깊이에 따른 원추지수의 변화는 유사한 경향을 나타내었다. SR-2는 사용자에 따라 관입 속도, 측정치 판독 등이 일정하지 않기 때문에 측정 오차가 크고, 측정에 많은 시간이 소요되는 단점이 있다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 토양 경도 측정 결과

표 3은 실험 포장의 첫째 열의 셀에서 결정한 원추지수를 관입 깊이에 따라 나타낸 것이다. 0~30 cm 관입 깊이에서 원추지수의 범위는 0.33~4.03 MPa 정도이었으며, 대체로 관입 깊이에 따라 원추지수가 증가하였으나 부분적으로 지면 아래 10 cm 깊이의 토양은 연약한 상태인 것으로 나타났다.

#### 나. 원추지수 지도

그림 9는 5, 10, 15, 20, 25, 30 cm의 토양 깊이에 대한 실험 포장의 원추지수 지도를 나타낸 것이다. 토양 깊이가 5 cm일 때 대부분의 원추지수는 0~1 MPa 수준이었으며 실험 포장의 우측 하단 지역의 원추지수가 타 지역에 비해 크게 나타났다. 토양 깊이가 10 cm일 때도 대부분의 원추지수는 0~1 MPa 범위의 값이어서 5 cm일 때의 원추지수와 현저한 차이는 나타나지 않았지만 원추지수가 큰 지역은 토양 깊이가 5 cm일 때보다 증가하였다. 토양 깊이가 15 cm일 때는 원추지수가 증가하여 우측 하단 지역의 원추지수는 1~2 MPa의 범위로 나타났으며, 토양 깊이가 20 cm일 때는 원추지수가 더 증가하여 우측 하단 지역의 원추지수는 2~2.5 MPa의 범위로 나타났다. 그러나 토양 깊이가 25 cm일 때는 원추지수가 컸던 지역은 오히려 감소하였으며, 최대 원추지수는 3 MPa 정도이었다. 토양 깊이가 30 cm일 때도 원추지수가 컸던 지역은 감소하였으며 원추지수는 1~2 MPa의 범위로 나타났다.

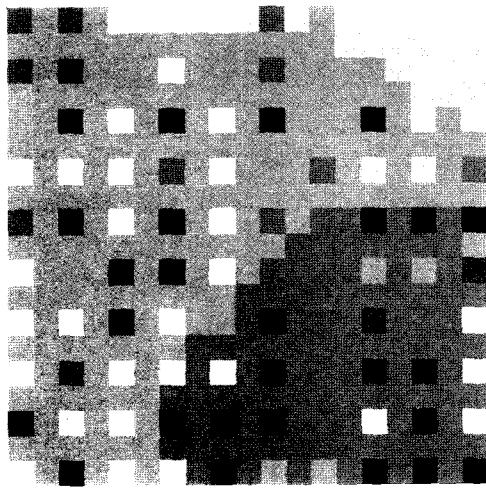
그림 9는 토양 깊이별 포장의 경도 정도를 평가하는데 활용할 수 있으며 또한 이를 이용하여 경운이 필요한 지역과 적절한 경심을 결정하는 데 활용할 수 있다.

#### 다. 경운 계획

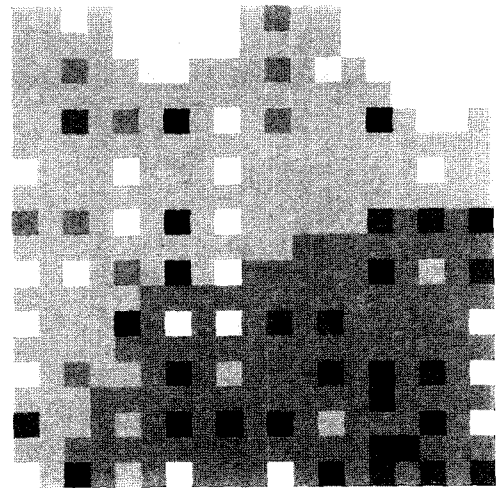
정밀 경운을 위해서는 포장의 경도에 따라 적절한 경운 계

Table 3 Results of measuring soil firmness with a tractor-mountable measuring system.

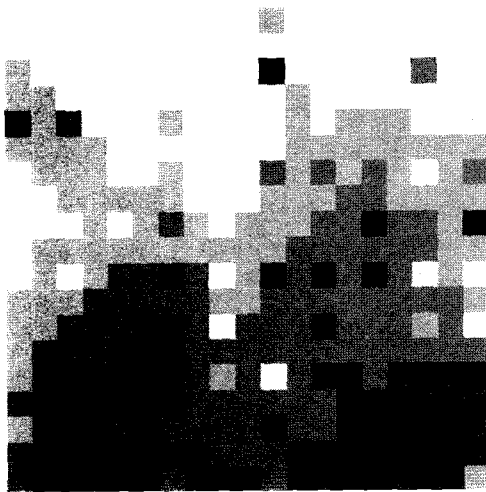
Penetration depth (mm)	Soil cone index (MPa)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	0.823	0.874	0.650	0.561	0.941	0.330	0.496	0.400	1.755	0.670
10	0.623	0.690	0.685	0.432	0.774	0.560	0.489	0.231	1.030	0.452
15	0.834	1.054	1.579	0.627	0.732	0.360	0.943	1.074	0.932	1.359
20	1.332	1.740	1.780	1.337	1.664	0.743	1.230	1.248	1.751	2.567
25	2.020	1.331	1.900	1.795	1.953	0.961	1.275	0.981	3.177	3.306
30	1.933	1.753	1.517	1.922	1.944	1.319	0.990	1.413	4.029	3.773



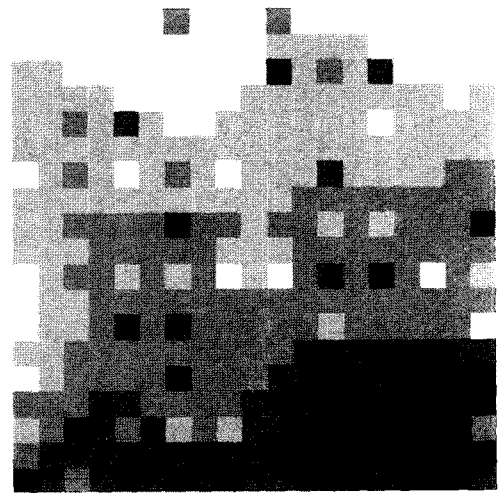
(a) At soil depth of 5 cm



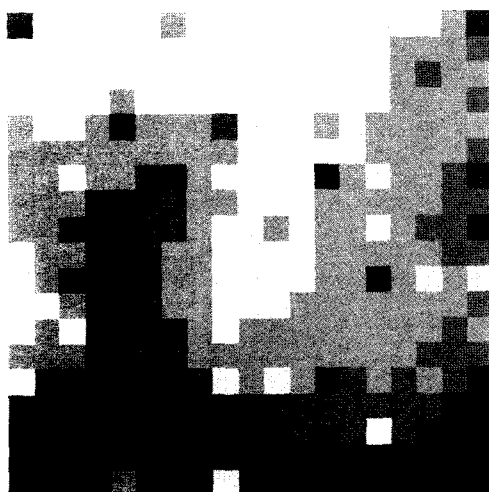
(b) At soil depth of 10 cm



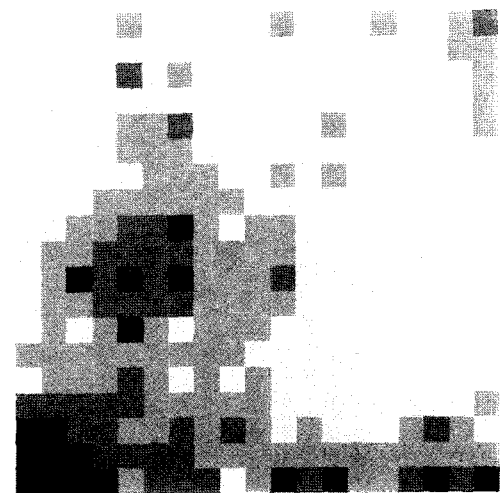
(c) At soil depth of 15 cm



(d) At soil depth of 20 cm



(e) At soil depth of 25 cm



(f) At soil depth of 30 cm

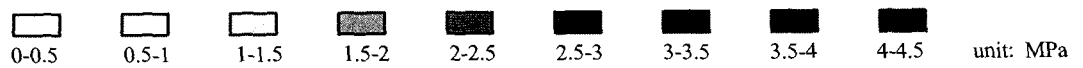


Fig. 9 Cone index maps for the experimental field.

획을 수립하여야 한다. 즉, 포장 내의 세부 구역에 따라 필요한 경심을 결정하고 이 경심에 따라 경운 작업을 실시하여야 한다. 따라서 경운 계획은 원추지수 지도를 기본으로 하여 세부 구역별로 필요한 경심을 결정하고 이에 따라 경운 지도를 작성하는 것이다. 세부 구역별 적절한 경심은 재배 작물, 재배 지역, 토성 등에 따라서 다르나 일반적으로 일정한 깊이의 표토층까지 일정한 경도의 토양 상태를 유지하는 것이 중요하다. 예를 들면 15~20 cm의 표토심에서 2 MPa의 토양 경도를 유지할 필요가 있는 경우에는 경도가 2 MPa 이상인 구역에서만 경심 20 cm로 경운 작업을 실시한다.

이러한 정밀 경운을 위해서는 작물, 재배 지역, 토성 등에 따른 적절한 토양 경도가 정립되어야 하며, 경운 지도에 따라 자동으로 경심을 조절할 수 있는 자동 제어 장치가 개발되어야 한다. 경운 지도는 경운 구역과 적정 경심에 대한 정보를 제공하며 이러한 정보는 경운 작업기의 경심을 결정하는 제어 장치로 전송되어야 한다. 하드웨어적인 측면에서, 최근의 마이크로 컴퓨터 및 자동 제어 기술로써 자동 경심 제어 장치를 개발하는 것은 어렵지 않을 것으로 예상된다. 따라서, 후속 연구 과제는 경운 지도를 작성하기 위한 알고리즘 개발과 이를 수행하기 위한 자동 경심 제어 장치의 개발이 될 것이다.

#### 4. 요약 및 결론

정밀 경운을 수행하기 위해서는 두 가지 기본적인 과제가 요구된다. 하나는 포장의 토양 경도를 측정하여 원추지수 지도를 작성하는 것이고, 나머지 하나는 원추지수 지도를 기본으로 하여 작물에 따라 경운 지도를 작성하는 것이다. 본 연구는 첫 번째 과제인 원추지수 지도를 작성하기 위한 것으로서, 포장의 토양 경도를 측정하기 위한 트랙터 부착형 토양 경도 측정 시스템을 개발하고, 경도 측정 결과를 이용하여 원추지수 지도를 작성한 것이다. 토양 경도 측정 시스템은 세 개의 원추 관입 장치와 이를 제어하기 위한 유압 제어 장치로 구성하였으며, 한 지점에서 트랙터를 정지하여 토양 관입 깊이와 관입력을 측정하고 다시 다른 지점으로 이동하여 측정할 수 있도록 하였다. 측정 지점의 토양 경도는 세 개의 원추

관입 장치로 측정된 관입력을 평균하여 구한 원추지수로 나타내었으며, 이 값을 이용하여 토양 깊이에 따른 포장의 원추지수 지도를 ArcView로 작성하였다.

개발한 트랙터 부착형 토양 경도 측정 시스템의 작동 상태는 우수하였으며, 원추지수 지도도 경운 지도를 작성하기 위한 기초 자료로서 충분한 것으로 판단되었다.

앞으로의 과제로서 경운 지도를 작성하기 위해서는 작물, 재배 지역, 토성 등에 따른 적절한 토양 경도가 정립되어야 하며, 경운 지도에 따라 자동으로 경심을 조절할 수 있는 자동 제어 장치가 개발되어야 한다.

## 사 사

본 연구는 농림부 농림기술개발사업의 지원에 의하여 이루어진 것임

## 참 고 문 헌

1. ASAE. 2003. ASAE Standards 50th Ed. S313.2 Soil cone penetrometer. St. Joseph, MI.
2. Daiki. 1998. Soil Penetrometer SR-2. Japan.
3. ESRI. 1997. ArcView GIS Version 3.1. Redland CA.
4. Fulton, J. P., L. G. Wells, S. S. Shearer and R. I. Barnhisel. 1996. Spatial variation of soil physical properties: A precursor to precision tillage. ASAE Paper No. 96-1012.
5. Khalilian, A., Y. Han, R. Dodd, M. Sullivan, S. Gorucu and M. Keskin. 2002. A control system for variable depth tillage. ASAE Paper No. 021209.
6. McCarthy, J. r., D. L. Pfost and H. D. Currence. 1993. Conservation tillage and residue management to reduce soil erosion. Agricultural Publication G1650, University Extension University of Missouri-Columbia. Columbia MO.
7. Raper, R. L., B. H. Washington and J. D. Jarrell. 1999. A tractor-mounted multiple-probe soil cone penetrometer. Applied Engineering in Agriculture 15(4):287-290.
8. Wells, L. G., S. A. Shearer, J. P. Fulton and L. W. Murdock. 2000. Assessment of remote sensing for implementation of precision tillage. ASAE Paper M001084.