

디지털 원추관입기 개발

이규승 이동훈 조용진 정선옥 박원엽 노광모 장영창

Development of a Digital Cone Index Measuring Device

K. S. Lee D. H. Lee Y. J. Cho S. O. Chung W. Y. Park K. M. Noh Y. C. Chang

Abstract

This study was performed to design and to construct a digital soil cone index(CI) measuring device replacing conventional analog type devices. The device developed in the study consisted of a load cell, a rotary encoder and a motor with a decelerator as its main parts. The cone speed was controlled lower than 3.0 m/s which keeps the standard suggested by the ASABE S313.3 specification.

The experiment was conducted in a soil bin system as well as in various fields. The CI data measured by the developed device were compared with those by an existing measurement device(SC900, Spectrum, USA). Based on the experiments at various field conditions, the CI measuring characteristic of the device was quite similar to that of the conventional device within a acceptable R^2 range of more than 0.5(mean=0.76). It was concluded that the digital cone index measuring device was an effective and comprehensive sensor for measuring soil strength.

Keywords : Soil strength, Cone index(CI), Digital CI measuring device

1. 서론

식물생산의 근거인 토양 환경은 생산물에 양적 질적 수준을 결정하는 가장 기본적인 요소이며 각각의 토양마다 토양강도, 토양압밀도 등은 매우 다르게 나타난다. 이 중에서 토양의 물리적 특성은 작물의 생장에 필요한 제반 여건을 결정하는 가장 중요한 요소이다. 과도한 토양다짐에 따른 토양경도의 증가는 식물뿌리의 성장을 저해하고 토양유기물의 유기적 활동을 감소시키며 식물영양분과 수분의 이용도를 감소시킨다. 또한 토양의 촘촘한 겹침(layer)은 식물뿌리의 발달과 영양분과 수분의 이용을 제한할 수 있다.

포장 내 토양경도는 통례적으로 원추관입시험기(cone penetrometer)를 사용하여 결정되어 왔다. 원추관입시험기는 깊이별로 토양강도를 원추지수(cone index, CI)로 나타낸다. 원추지

수는 원추관입시험기에 의해 30° 정각을 갖는 원추(cone)의 저면적(base area)당 관입저항으로 정의되는데, 단위는 통상적으로 kPa를 사용한다. 원추지수는 차원해석법을 이용한 무차원 차륜지수 추정에도 적용되며 경험적 방법에 의해 단일 차륜의 견인력(DP) 등을 예측하는데 이용되고 있다.

J. M. A. Desbiolles(2006)등은 경작방법과 경운작업기의 선정을 위해 원추관입시험기를 이용하여 토양강도를 조사하였다. 김경욱(2000)등은 원추지수를 이용한 작업성 예측의 가능성을 제시하기 위하여 원추지수의 변화와 작업상태의 관계를 규명하였으며, 실험의 결과는 원추지수를 이용하여 경운 정지작업의 작업성 예측은 가능한 것으로 판단하였다.

ASABE Standard, ASABE S313.3에 제시되어있는 토양지수 중 토양의 경도특성 지수를 측정하기 위해서 SR-2형 원추관입시험기(DIK-5502, Daiki, Japan), 드럼 회전 기록식 원

This work was conducted by the research fund supported by Rural Development Administration of Korea. The article was submitted for publication on 2010-10-12, reviewed on 2010-10-27, and approved for publication by the editorial board of KSAM on 2010-11-12. The authors are Kyouseung Lee, Professor, Donghooon Lee, Research Associate, Yongjin Cho, Ph.D Graduate, KSAM members, Sungkyunkwan University, Sunok Chung, Professor, Chungnam National University, KSAM member, Wonyeop Park, Professor, Hankyeng University, KSAM member, Kwangmo Noh, and Youngchang Chang, Professors, KSAM members, Konkuk University. Corresponding author: Y. C. Chang Professor, Dept. of Bio-systems Engineering, Konkuk University, Chungju, Chungbuk, 380-701, Korea; Tel: +82-43-840-3556; Korea; E-mail: <ycchang@kku.ac.kr>

추관입시험기(DIK-5521, Daiki, Japan), Soil Compaction Meter(SC900, Spectrum technology, Inc., USA), 베바메타(Bevameter)등, 다양한 종류의 관입시험기가 개발되었다.

Y. Suna(2006)는 관입력을 결정하기 위하여 Hall-current-sensor를 사용하여 마그넷 DC-motor의 작동 전류를 동적으로 측정하였으며 관입력에 대한 DC-motor의 작동 전류와 관계를 분석하였다. 나아가 A.M. Mouazen(2007)등은 적외선 및 분광광도계를 사용하여 토양 물리성을 측정하였다.

현재 토양경도 측정에 가장 널리 사용되는 것은 SR-2형 원추관입시험기와 Soil Compaction Meter가 있으며 이들은 휴대가 용이하고 신속하게 측정할 수 있는 장점이 있다. 그러나 SR-2형 원추관입시험기는 관입깊이를 시각적으로 판단하고 수동으로 측정하기 때문에 오차가 심하며 측정의 숙련도를 요구한다. 또한 Soil Compaction Meter는 관입깊이의 측정하기 위하여 토양 위에 사각 판을 수평으로 놓은 후에 초음파 센서를 사용하는 관계로 토양의 표면 상태에 따라 사용이 불편하며 미국 농업공학학회 기준에 제시된 초당 관입속도 30mm/sec를 정확히 맞추기 어렵다.

따라서 본 연구는 SR-2형 원추관입시험기와 Soil Compaction Meter의 단점을 보완하기 위해서 로드셀과 토크센서, 그리고 일정한 관입속도를 유지할 수 있는 전동 모터를 사용하여 연속적인 정밀 측정이 가능하며, 또한 수동으로 드럼에서 측정치를 읽어내는 번거로움을 없애는 자동 데이터 디스플레이 및 저장 시스템이 내장된 디지털 원추관입기를 개발하고자 하였다. 나아가 인공 토조의 실내 실험과 실제 포장에서의 야외 실험을 통하여 기존 장비와 측정치를 비교함으로써 개발된 디지털 장치의 신뢰도를 검증하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 디지털 원추관입기의 설계 및 제작

본 연구에서 고려하는 디지털 원추관입기는 토양경도를 측정하는 일반적 장비(SC900, Spectrum technology inc., USA)의 문제점을 제거하고 데이터 수집의 신속성과 정밀성을 높이는 장비로서 다음과 같은 사항을 포함하여 설계하였다.

SC900은 초음파 센서를 이용하여 관입깊이를 측정하기 때문에 토양에 반사판을 올려놓고 반사판에 뚫린 구멍으로 장비의 탐침을 삽입하므로 반사판이 센서와 평행을 유지하기 위해서 지형적으로 많은 사전 준비가 필요하다. 따라서 개발하려는 원추관입기는 초음파 센서대신 로터리 엔코더(Rotational Encoder, E40 SERIES, Autonics, Korea)를 설치하여 모터의 회전수에 따라 관입깊이를 계산할 수 있도록 함으로써 지형적 조건에 상관없이 측정이 가능하도록 하였다.

기존의 측정기는 측정자가 주관적 판단으로 임의의 속도를 유지하면서 관입시키므로 관입속도가 일정하지 않아 센서가

에러를 일으키는 경우가 많다. 따라서 본 연구에서는 자동으로 탐침을 관입시키면서 30 mm/s 이하의 속도를 유지할 수 있도록 DC geared motor(IG-42GM, D&G Corp., Japan)를 사용하였다. 또한 로드셀(CMM2, DACELL, Korea)을 설치하여 하중을 측정하고, MCU 제어를 바탕으로 인디케이터(DN-120, DACELL, Korea)와 마이콤을 통해 취득된 데이터를 실시간 확인하고 저장함으로써 측정시간 및 필요한 인력을 감축하여 on-line data monitoring이 가능하도록 설계하였다.

따라서 설계된 디지털 장치는 로드셀로부터 출력되는 신호를 입력장치를 통하여 입력받은 후, MCU와 DAC(digital to analog converter)를 거쳐 신호를 증폭시키고 다시 아날로그로 변환하여 MCU를 거쳐 각각의 신호를 인디케이터에 표시하며, 또한 장착된 시리얼포트로 출력하여 컴퓨터의 컴퓨터로 신호가 전송가능 하도록 되어 있다. 로터리 엔코더는 펄스 신호를 카운터한 후 MCU로 전송하여 관입깊이를 알려주게 된다.

디지털 원추관입기의 개략도는 그림 1과 같으며, 주요 부분으로서 본체, 손잡이, 로터리 엔코더, 인디케이터, 모터, 로드셀, 볼스크류, 기어, 발판, on/off 스위치 등으로 구성되어 있고 실제장치는 그림 2에서 보여주고 있다.

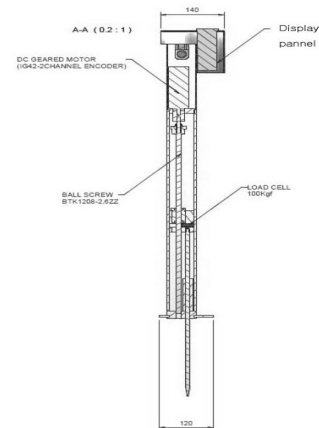


Fig. 1 Schematic diagram of a digital soil CI measuring device.



Fig. 2 The digital soil CI measuring device developed in the study.

나. 디지털 원추관입기의 회로 및 측정 자료 분석도구

본 연구에서는 ASABE Standard(ASABE S313.3 specification)에 제시되어 있는 토양 물리성지수 측정절차를 따르는 디지털 원추관입기를 개발하고자 하였으며, 설계된 측정장치의 신호 흐름에 따른 내부 회로의 다이어그램은 Fig. 3에서 보여 주고 있다.

디지털 원추관입기는 로드셀 및 엔코더 등의 복합적인 전기 신호의 조합으로 이루어지며 이런 전기적인 신호들을 효과적으로 관찰하고 데이터를 수집하기 위해서는 전용장비 뿐만 아니라 관리 프로그램이 필요하다. 따라서 디지털 원추관입기로부터 취득한 데이터를 종합적으로 분석하기 하여 CI의 도시, 다중의 CI 비교 및 평균값 계산, CI 간의 상관관계 및 오차 분석을 수행할 수 있는 분석 도구를 개발하였다.

분석도구는 Visual Studio C++(Ver. 6.0)(Visual Studio Pro 6.0, Microsoft, USA)로 제작하였으며 로드셀 정보와 토오크 정보, 그리고 GPS신호가 실시간으로 표시되고, 측정이 끝나면 ASCII text 파일로 변환되어 저장된다. 그림 4는 본 연구에서 개발된 측정데이터 분석 도구의 윈도우즈 화면을 보여준다.

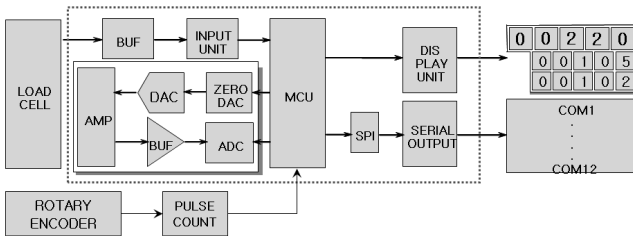


Fig. 3 The circuit block diagram of soil cone index measuring device.

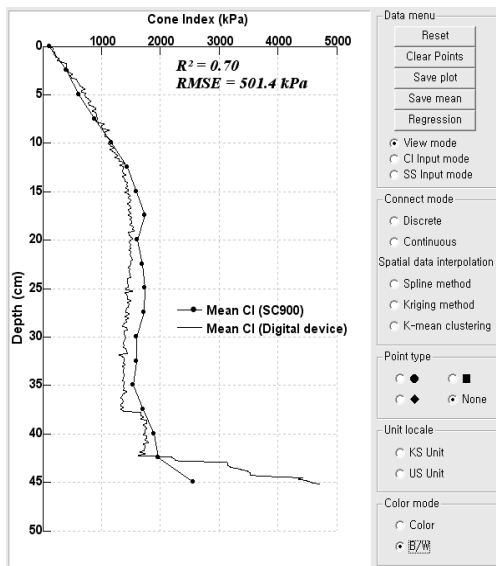


Fig. 9 Data analysis tool developed by using Visual Studio C++ 6.0 for the digital soil CI measuring device.

다. 디지털 원추관입기의 검증실험

본 연구에서 개발된 디지털 원추관입기의 데이터와 기존 장비의 측정데이터를 비교, 분석하여 디지털 장비의 신뢰성을 검증하고자 실내 및 실외 실험을 수행하였다. 비교를 위한 기존장비로서 SC-900을 사용하였는데, 이 장비는 최대관입하중 931 N·m이며 반사되는 초음파를 이용하여 깊이를 측정할 수 있다.

실내 실험으로 인공토조에서 수행하였으며 개발된 디지털 원추관입기와 기존 장비의 관입위치의 차이를 10 cm 간격으로 고정하고, 두 장비를 이용하여 1 m 간격으로 연속적으로 CI를 측정한 후 그 결과를 비교하였다. 실험 토양의 조성과 분류는 미국 농무성법(USDA)에 따라 실시하였으며 그 결과는 표 1과 같다.

Table 1 Test soil properties based on USDA classification

Composition			Texture
Sand(%)	Silt(%)	Clay(%)	
53.5	37.1	9.4	Sandy Loam

본 연구에서는 측정된 자료의 유효성 및 정확성 비교 검증을 위하여 RMSE(root mean square of error)와 두 측정값 사이의 회귀계수(regression coefficient)를 구하였으며 RMSE를 구하는 수식은 다음과 같다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{(y - \hat{y})^2}{N}}$$

where, y = measured value by a conventional device
 \hat{y} = measured value by the developed device
 N = number of experiment

Table 2 Description of field experiments on the digital soil CI measuring device

Serial number	Category of field	Location	Replication
1	Paddy field	Gyeonggi suwon imok	15
2	Paddy field	Gyeonggi suwon yeongtong	15
3	Paddy field	Gyeonggi icheon sindun	20
4	Dry field	Gyeonggi suwon yeongtong	15
5	Dry field	Gyeonggi icheon sindun	15
6	Orchard	Gyeonggi suwon geumgok	15
7	Orchard	Gyeonggi suwon yeongtong	15

실내 인공토조 실험과 더불어 실외의 농경지 포장에서 디지털 원추관입기의 검증 실험을 수행하였다. 표 2에 나타난 여러 지역의 포장에서 총 15~20회의 원추관입에 의한 CI 측정실험을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 디지털 원추관입기의 실내 검증 실험

디지털 원추관입기는 시작기로서 측도 실험을 수행하였다. 나아가 개발 장비의 측정 데이터와 기존 장비의 측정데이터를 비교하고 분석하여 장비의 신뢰성을 검증하였다. 기존장비는 25 mm의 깊이 간격으로 CI의 측정이 가능하지만, 개발된 장비는 1 mm 단위로 측정이 가능하였다. 본 연구에서는 먼저 두 장비의 깊이에 따른 CI의 변화 경향을 살펴본 후, 성능비교를 위하여 기존장비의 측정범위인 25 mm 간격으로 CI의 유사성을 비교하였다.

그림 5는 두 장비로 측정한 깊이에 따른 CI의 변화를 보여주는 전형적인 예이다. 그림에 나타나는 것과 같이 측정한 깊이에 따른 CI의 측정값과 그 변화 경향은 매우 유사하였으며, 디지털 원추관입기를 통해서 보다 세밀한 간격의 CI 데이터를 획득할 수 있음을 알 수 있다. 각각의 깊이별로 비교해볼 때, 데이터간의 RMSE 오차율은 0.3% 이내로 기존 장비와 개발된 디지털 원추관입기의 측정성능은 비슷하다고 판단하였다.

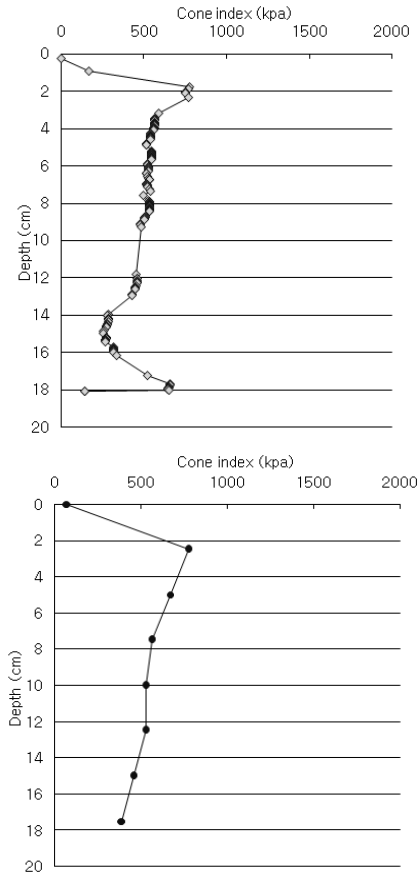


Fig. 5 Similarity of cone indexes measured by a conventional device and the digital soil CI measuring device.(Left : Digital device; Right : SC900)

나. 디지털 원추관입기의 농경지 검증 실험

본 연구에서는 개발된 디지털 원추관입기를 실내 실험에 이어 총 7개소의 농경지 실험지역에서 장비별로 15~20회의 CI 측정 비교실험을 수행함으로써 성능을 검증하였다.

그림 6은 수원 금곡동 소재 과수원에서 기존장비(SC900)를 이용하여 취득한 CI 데이터 중, 5개를 무작위로 선정하여 깊이에 따른 CI의 변화와 값을 도시한 그래프이다. 마찬가지로 디지털 원추관입기를 통하여 같은 과수원 내에 서로 인접한 장소에서 취득한 깊이에 따른 CI의 변화와 값을 도시한 그래프는 그림 7에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이, 실험 특성상 정확히 같은 장소에서 같은 조건으로 실험을 할 수 없는 조건을 감안하더라도 실험 지역의 CI 값과 변화 경향은 RMSE 값의 범위가 425.1 ~ 634.3 kPa 정도로서 매우 유사함을 알 수 있다.

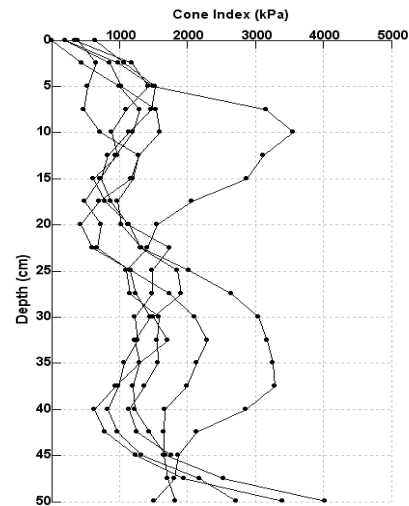


Fig. 6 Cone indexes measured by a conventional device(SC900) at Suwon, Geumgok.

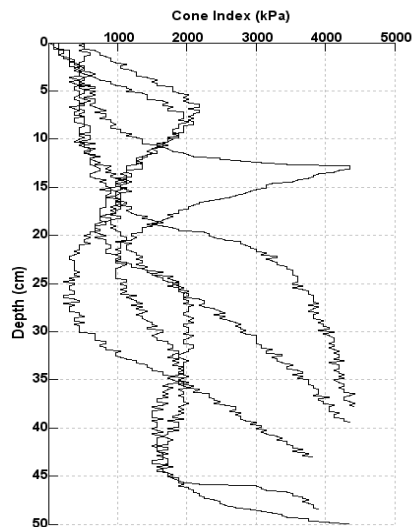


Fig. 7 Cone indexes measured by the digital CI measuring device at Suwon Geumgok.

그림 8은 경기 이목의 논, 수원 영통의 밭, 수원 금곡동의 과수원에서 기존장비와 디지털 원추관입기에 대하여 각각 15회의 CI 측정 자료를 깊이별로 평균하여 두 장비의 CI 측정치를 비교한 그래프이다. 두 개의 CI 그래프를 보면 그림 6, 7과 같이 깊이별 평균 CI의 값과 변화 경향은 유사함을 알

수 있다.

총 7개의 실외 시험지역에 대하여 깊이별 CI의 평균을 구하였으며, 이와 같이 계산한 평균 CI 값을 기준으로 3 반복하여 두 장비의 깊이별 CI 값의 R^2 와 $RMSE$ 를 비교하였으며 그 결과는 표 3에 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 SC900

Table 3 Analysis result of CI data from each measuring device

Field index	SC900 (kPa)			Developed device (kPa)			R^2	$RMSE$
	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean		
1	111	1942	832.8	135	1950	881.7	0.92	118.9
	226	1873	986.1	255	1525	900.7	0.77	211.6
	191	1942	1050.6	150	2400	945.0	0.86	224.5
2	120	2569	1454.4	60	4575	1434.8	0.70	501.4
	199	4563	1545.7	135	2250	1399.4	0.17	899.1
	244	3228	1407.1	135	2355	1483.8	0.38	538.8
3	188	2128	1260.6	120	1931	1122.8	0.90	253.2
	204	1981	1165.6	195	2062	1227.8	0.86	258.5
	188	2128	1224.6	195	2587	1231.1	0.90	204.6
4	212	2600	1284.5	90	2190	1243.5	0.57	449.3
	120	3090	1864.8	294	2834	1423.0	0.66	679.0
	165	3375	1803.7	265	3343	1548.4	0.86	401.9
5	167	3173	1921.9	150	2981	1407.3	0.61	742.1
	241	2687	1767.7	300	3195	1798.3	0.88	347.4
	224	2756	1853.9	210	3480	1757.8	0.79	522.1
6	241	2687	1767.7	255	2550	1452.2	0.83	425.1
	405	3903	1958.5	315	2650	1557.6	0.58	634.3
	301	2698	1452.4	300	4012	1781.2	0.74	618.5
7	435	2625	2004.6	325	3514	1852.5	0.47	480.1
	285	2925	2132.4	229	3759	2231.4	0.72	613.5
	487	3547	2221.9	270	3750	2188.4	0.50	747.3

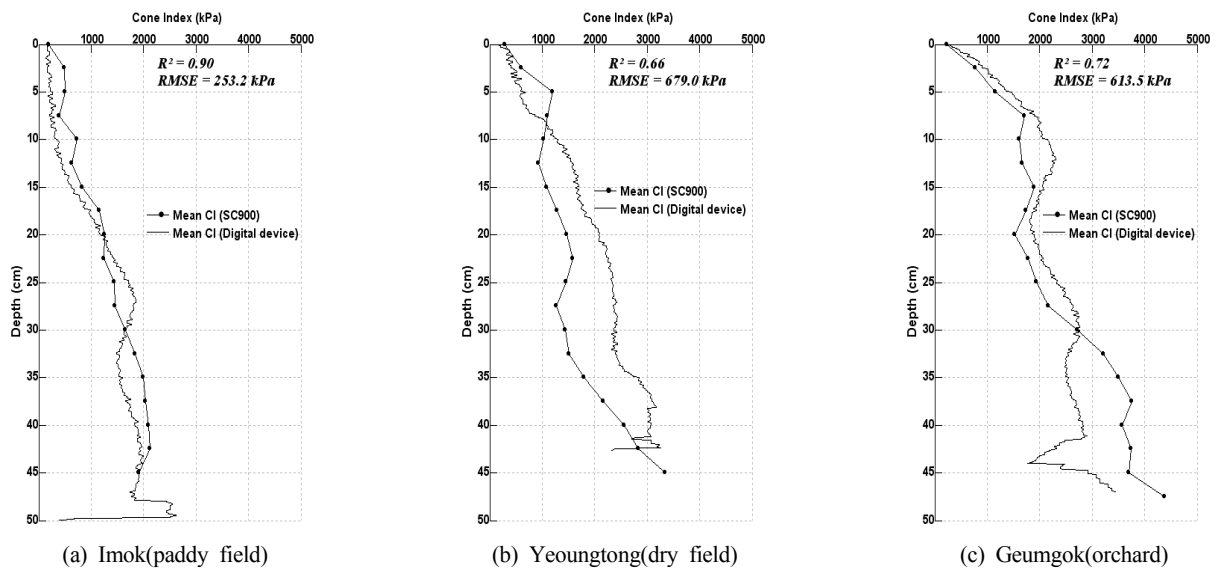


Fig. 8 Comparison of mean CIs with depth measured by a conventional device(SC900) and the digital CI measuring device at various fields.

과 디지털 원추관입기의 실외 실험 장소에 따른 *RMSE* 범위는 대략 120 kPa에서 900 kPa로 폭넓게 분포하며, R^2 의 범위는 0.5 이상이었다. 그러나 몇 개의 특이한 측정값(2번 포장, $R^2=0.17, 0.38$)은 상대적으로 낮은 값으로서 해당 포장 상태의 불규칙성을 나타낸다. 그러나 디지털 원추관입기의 특성이란 측면에서 이를 제외하면 R^2 의 평균값은 0.76으로 토양실험조건의 특수성에 비교할 때 매우 높은 것으로 판단되었다.

본 연구에서 개발된 디지털 원추관입기는 자체 전력을 내장한 이동형 장비로서 기존의 수동 계측장비에 비하여 객관적 측정이 이루어지고, 고속 측정이 가능함과 동시에 작업자의 수를 대폭 경감 할 수 있었다. 아울러 실내외 실험에서 결과 분석을 바탕으로 할 때 충분히 기존의 수동 계측장비를 대체할 만한 성능을 가진 것으로 판단된다.

4. 요약 및 결론

포장 내 토양경도는 작물의 생장에 필요한 제반 여건을 결정하는 가장 중요한 요소로서 통례적으로 원추지수(*cone index*)로 나타냈으며 원추관입시험기를 사용하여 측정되었다. 그러나 기존의 장비들은 수동으로 많은 인력과 숙련도를 요구하며 측정 오차가 매우 높은 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 연속적인 정밀 계측이 가능하며, 또한 자동 데이터 디스플레이 및 저장 시스템이 내장된 디지털 원추관입기를 개발하고 그 성능을 검증하고자 하였다.

연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 실내 실험에서 기존장비는 25 mm의 깊이 간격으로 CI를 측정하였으나 개발된 디지털 원추관입기는 1 mm 단위로 측정이 가능하였으며, 측정 깊이에 따른 CI값과 그 변화경향은 두 장비가 매우 유사하였고 데이터간의 *RMSE* 오차율은 0.2% 이내로 나타났다.
- (2) 농경지 실외 실험에서 두 장비는 정확히 같은 장소에서 같은 조건으로 실험을 할 수 없는 조건을 감안하더라도 실험 지역의 CI 값과 변화 경향은 매우 유사하였다.

- (3) 총 7개의 실외 시험지역에 대하여 깊이별 CI의 평균 값을 기준으로 두 장비의 CI 값의 R^2 와 *RMSE*를 비교하였고 실외 실험 장소에 따른 *RMSE* 범위는 대략 120 kPa에서 900 kPa로 폭넓게 분포하였으며, R^2 의 범위는 0.5 이상, 평균 0.76으로 매우 높은 것으로 나타났다.
- (4) 본 연구에서 개발된 디지털 원추관입기는 수동 계측장비에 비하여 정밀하며, 고속 측정이 가능함과 동시에 작업자의 수를 대폭 경감하여 기존의 수동 계측장비를 대체할 것으로 판단되었다.

참 고 문 헌

1. American Society of Agricultural Engineers, 1999(R2009). ASABE Standard S313.3 FEB04 Soil Cone Penetrometer, USA.
2. Desbiolles, J. M. A., R. J. Gotwin, J. Kilgour and B. S. Blackmore. Prediction of tillage implement draught using cone penetrometer data. *J. Agric. Eng Research* 73:65-76.
3. Garciano, L. O., S. K. Upadhyayaa, R. A. Jonesa and S. R. Jersey. 2007. Determination of the soil pressure distribution around a cone penetrometer. *Journal of Terramechanics* 44(3):265-273.
4. Kim, K. U., S. W. Choi and Y. K. Oh. 2000. Prediction of tillage Workability by Cone Index. *Journal of Biosystems Engineering* 25(3):195-202.
5. Motavalli, P. P., S. H. Anderson, P. Pengthamkeerati and C. J. Gantzer. 2003. Use of soil cone penetrometers to detect the effects of compaction and organic amendments in claypan soils. *Soil and Tillage Research* 74(2):103-114.
6. Mouazen, A. M., M. R. Maleki, J. De Baerdemaeker and H. Ramon. 2007. On-line measurement of some selected soil properties using a VIS-NIR sensor. *Soil and Tillage Research* 93(1):13-27.
7. Suna, Y., D. Ma, P. S. Lammersb, O. Schmittmannb and M. Roseb. 2006. On-the-go measurement of soil water content and mechanical resistance by a combined horizontal penetrometer. *Soil and Tillage Research* 86(2):209-217.