

## 논토양 경반의 물리적 특성

이규승 박준걸 조성찬 노광모 장영창

### Physical Properties of Hardpan in Paddy Fields

K. S. Lee J. G. Park S. C. Cho K. M. Noh Y. C. Chang

#### Abstract

Based on the profiles of cone index with depth, physical properties of hardpan in selected rice fields were measured and analyzed in the study. An error correction algorithm removing a random measurement error from raw CI profile data was introduced in the study. The properties of hardpan included the shape, the thickness and the rice root growing layer. The analysis of physical properties of hardpan in the rice fields showed that the type of hardpan could be classified into 6 categories. The thickness of hardpan ranged from 6 cm up to 41 cm and the average hardness of hardpan was analyzed to be from 1.1 MPa through 3.2 MPa in Cone index.

**Keywords :** Paddy field, Hardpan, Cone index, Physical property

### 1. 서론

일반적으로 농지의 경반(hard pan)은 작토층 하부에 있는 단단한 토층을 말하며 너무 단단하면 작물뿌리에 대한 토양 통기성이 나빠지는 것으로 알려졌다. 그러나 논토양에서 경반은 농작업기의 주행을 도와주며 담수시 물의 하부 유출을 막아 주는 기능을 한다.

유숙중 등(2001)은 논토양 경반층 파쇄에 따른 물리성개선 시험을 수행하였다. 심토의 경반층을 파쇄한 결과, 용적밀도 감소에 따른 공극율 증가로 원추저항력이 낮아지고 토양의 치밀도가 떨어져 물리성은 현저하게 개량되는 것으로 나타났으며, 물리성 개선 결과로서 벼 수확량은 4~6%의 증수되었다고 보고하였다.

이재성 등(1996)은 벼 건답직파에서 경운방법별 토양 이화학적 특성변화를 구명하였다. 그 연구에 따르면, 경운방법과 토심별 경도 변화는 토심이 깊어갈수록, 경운횟수가 적을수

록 높은 경향이였다. 또한 토심별 원추관입 저항은 표토의 경우 경운+로타리가 가장 낮은 경향이였고 경운방법별 경반층 형성은 매년 경운구에서 20 cm, 로타리 처리에서는 10 cm 전후, 4년 무경운구에서는 2~3 cm에서 형성되는 경향이 나타났다.

상기의 연구에서 보는 바와 같이 경반은 토양다짐이나 경도에 의해 단단한 토층으로 설명되기는 하지만 정확한 물리적 특성은 구명되어 있지 않다. 이러한 관점에서 볼 때 깊이에 따른 토양강도를 양적으로 표시하는데 사용되는 토양 원추관입기에 의한 CI(cone index)는 경반의 물리적 특성을 분석하는 주요한 지표로 이용된다.

원추지수는 직접적인 측정으로 깊이에 따른 토양강도 추정에 널리 이용되어왔다. 나아가 최석원 등(2000)은 원추지수와 쟁기 작업상태, 그리고 로타리 작업상태를 연관하여 분석함으로써 토양강도에 따른 경운 작업성(workability)을 예측하였다. Park 등(2005)은 원추지수와 토양의 점착력, 내부마찰각을 이용하여 경운방법별 토양의 물리적개선도를 비교분석하였다.

This study was conducted by the research fund supported by Agricultural R&D Promotion Center (ARPC). The article was submitted for publication in July 2007, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in August 2007. The authors are Kyou Seung Lee, Professor, KSAM member, Sungkyunkwan University, Jun Gul Park, Kwang Mo Noh, Young Chang Chang, Professor, KSAM members, Konkuk University, and Seung Chan Cho, Professor, KSAM member, Chungbuk University. Corresponding author: Y. C. Chang, Professor, Dept. of Biosystems Engineering, Konkuk University, Chungju, Chungbuk, 380-701, Korea; Tel: +82-43-840-3557; E-mail: <ycchang@kku.ac.kr>.

따라서 본 연구에서는 원추지수를 이용하여 논토양 경반층의 물리적 특성을 구명하고, 국내 주요 논토양 경반의 물리적 특성을 분석하여 그 특성에 따라 경반을 분류하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

본 연구에서 CI는 원추관입기(SC900, Spectrum Technology, E Plainfield, USA)를 이용하여 측정하였다. 원추관입저항기는 SR-2 모델과는 달리 원추지수는 8 MPa까지, 깊이는 80 cm까지 측정이 가능하여 논토양 경반의 물리적 특성을 측정하기에 적합한 것으로 판단되었다.

일반적으로 한 포장의 토양경도 측정 방법은 임의의 3지점 또는 5지점의 토양경도를 측정하여 평균을 취함으로써 대표적인 토양경도의 특성자료로 삼았다. 하지만 본 연구에서는 춘계 경운 전 실험 포장에서 가로 5 m, 세로 5 m 단위로 전 포장의 토양경도를 측정하였으며 취득한 토양경도를 깊이별(10 cm)로 정리하였다.

그림 1은 깊이별로 실험포장의 원추지수 분포를 보여주고 있다. 이와 같이 포장의 전 영역의 토양경도를 측정된 자료를 바탕으로 경반의 물리적 특성을 분석하기 위해서는 관행적으로

로 깊이별 평균을 구하는 방법으로 대표지수를 획득하여야 한다.

그러나 이러한 대표지수를 결정함에 있어 평균값을 사용하는 방법은 토양경도 측정 시 발생할 수 있는 다양한 오차 및 토양 자체가 가지는 불균일성으로부터 발생하는 오류 정보를 그대로 담고 있으므로 이러한 오류 정보를 최소화 하고자 다음과 같은 보정 알고리즘을 사용하였다.

- (가) 깊이별 토양 경도의 평균 및 표준편차를 구한다.
- (나) 오차 감소를 위한 오류정보의 제거를 위하여 각 토양 경도의 평균값과의 오차를 구한다.
- (다) 앞의 과정에서 구한 오차의 값이 최대인 깊이의 토양 경도를 제거한다.
- (라) 제거 후의 새로운 표준편차를 구한다.
- (마) 새로 구한 표준편차와 (가)과정에서 구한 표준편차의 차가 임계값 보다 클 경우에 처음부터 다시 동일한 과정을 수행한다. 만약 임계값보다 작거나 더 이상 변화가 없을 경우 다음 과정으로 넘어간다.
- (바) 남아 있는 정보로부터 평균을 취하여 대표 지수를 획득한다.

이 과정을 그림 2와 같이 순서도로 정리하였다.

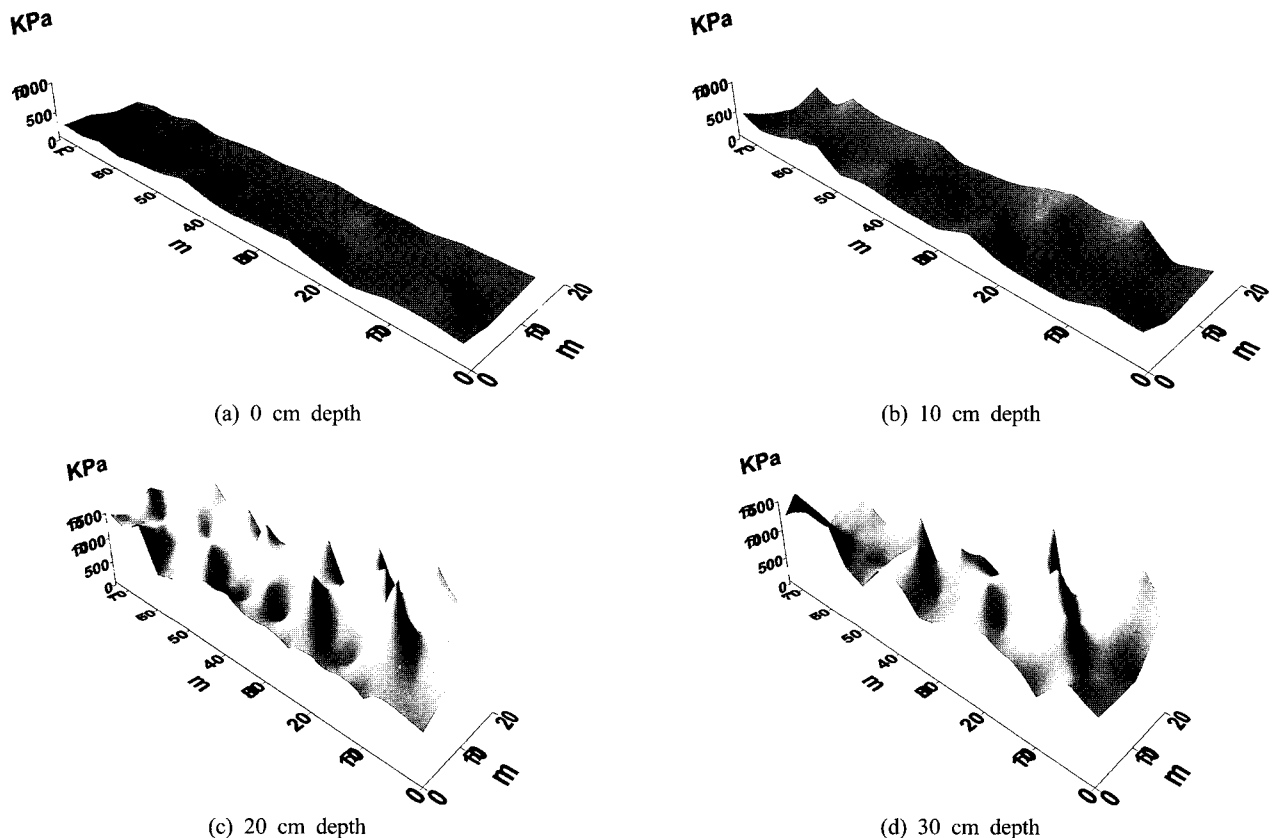


Fig. 1 Textured distributions of CIs at different depths in a selected field.

그림 3은 보정 알고리즘의 적용을 통하여 재귀적인 알고리즘을 수행한 결과로서 표준편차의 변화가 임계값(0.001) 이하로 작아지는 보정 시점의 예를 보여주고 있다.

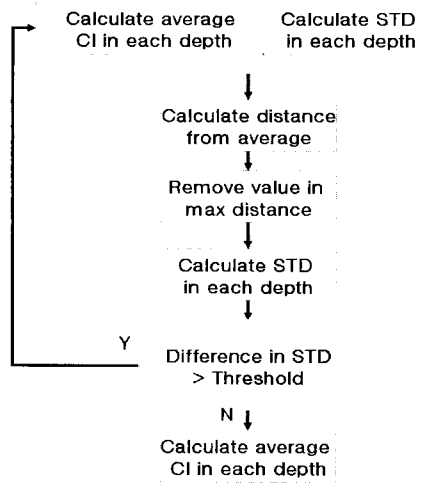


Fig. 2 The flowchart of an algorithm for correcting random errors from CI measurement.

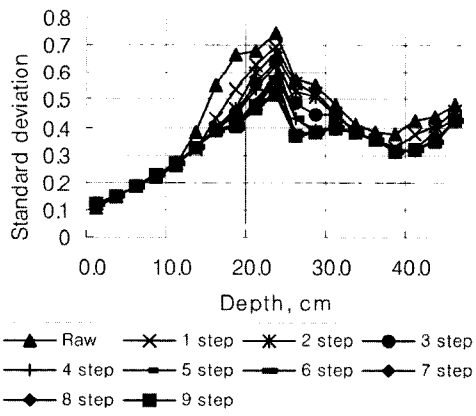


Fig. 3 An application of the error correction algorithm for removing random measurement errors from CIs.

### 3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 그림 4와 같이 보정 알고리즘을 통하여 깊이 따른 CI 프로파일을 개선할 수 있었다. 그림 5는 보정 알고리즘을 이용하여 CI값을 교정하였을 때 교정 전후의 CI 분포를 보여주고 있다.

그림 5에서 교정 전 깊이 40 cm의 CI 분포에서 급격한 스파이크가 교정 후 완화되어있는 것을 볼 수 있다.

경반의 물리적 특성 분석을 위해서는 토양의 경도특성에 대한 정확한 측정 및 분석이 수반되어야 한다. 본 연구에서는 다양한 형태로 존재하는 토양 물리적 특성의 오류를 제거하고, 이를 토대로 경반층의 시작지점 및 두께, 평균 강도를 분석하였다.

연구결과(조인상 등, 1985)에 따르면 벼의 뿌리가 토양경도에 의해서 영향을 받아 생육에 지장을 받기 시작하는 토양경도는 1 MPa인 것으로 보고되고 있다. 본 연구에서는 경반의 시작점을 토양경도 1 MPa 이상이며 경도가 지속적으로 증가하는 지점으로 정의하였으며, 경반의 끝점은 토양경도가 정점에 이른 뒤 지속적으로 감소하여 하나의 봉우리를 완성하고 기울기가 증가하거나 또는 더 이상 증가하지 않는 지점으로 정의하였다.

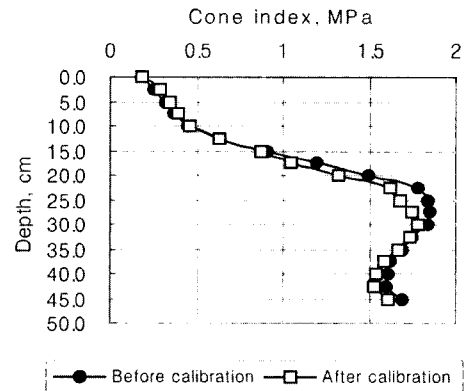


Fig. 4 CI profiles with depth before and after applying the correction algorithm.

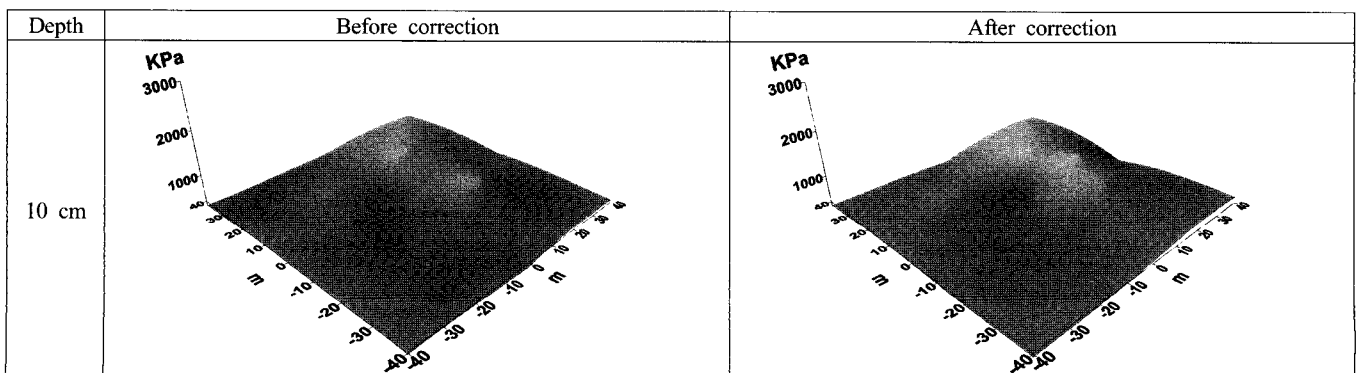


Fig. 5 Textured distributions of CIs with depth in a selected field before and after applying the error correction algorithm.

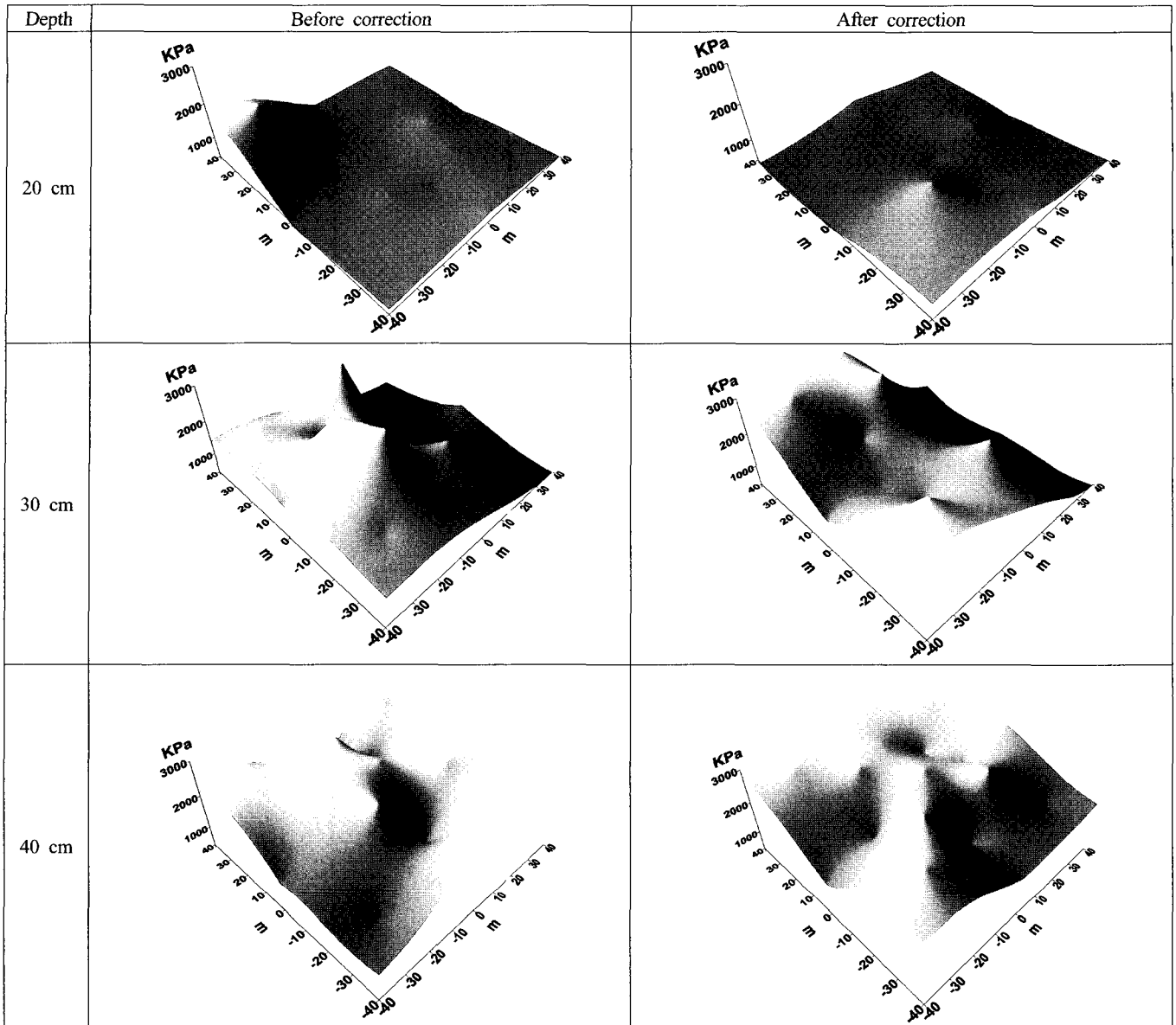


Fig. 5 Textured distributions of CIs with depth in a selected field before and after applying the error correction algorithm (continued).

그림 6은 논토양 경반층의 물리적 특성을 분석하기 위해 그려진 전형적인 토양깊이에 따른 원추지수의 프로파일을 보여주고 있다. 이것은 한 지역에서 측정된 3반복의 평균 CI를 보여준다. 그림에서  $\delta_s$ 는 경반 시작점,  $\delta_E$ 는 경반 끝점을 표시하며, 경반층의 폭  $W$ 는  $W = \delta_E - \delta_s$ 로 나타난다. 그림에서 경반층의 폭은 약 11 cm로 표시된다.

본 연구에서는 우리나라 논토양의 경반 특성을 분석하기 위해 대표적 수도 재배지역 33개를 선정하여 상기에서 설명한 원추관입저항기를 이용하여 원추지수를 측정하였으며, 이 원추지수를 토양깊이에 따라 정리하여 논토양 경반의 물리적 특성을 분석하였다.

그림 7은 6개의 전형적인 경반층의 형태를 보여주고 있다.

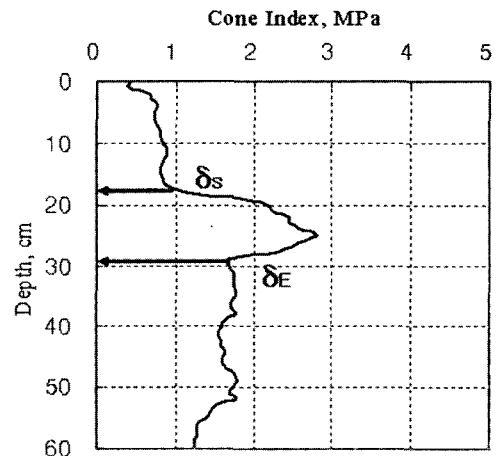


Fig. 6 Typical profile of CIs with depth for determining the hardpan thickness.

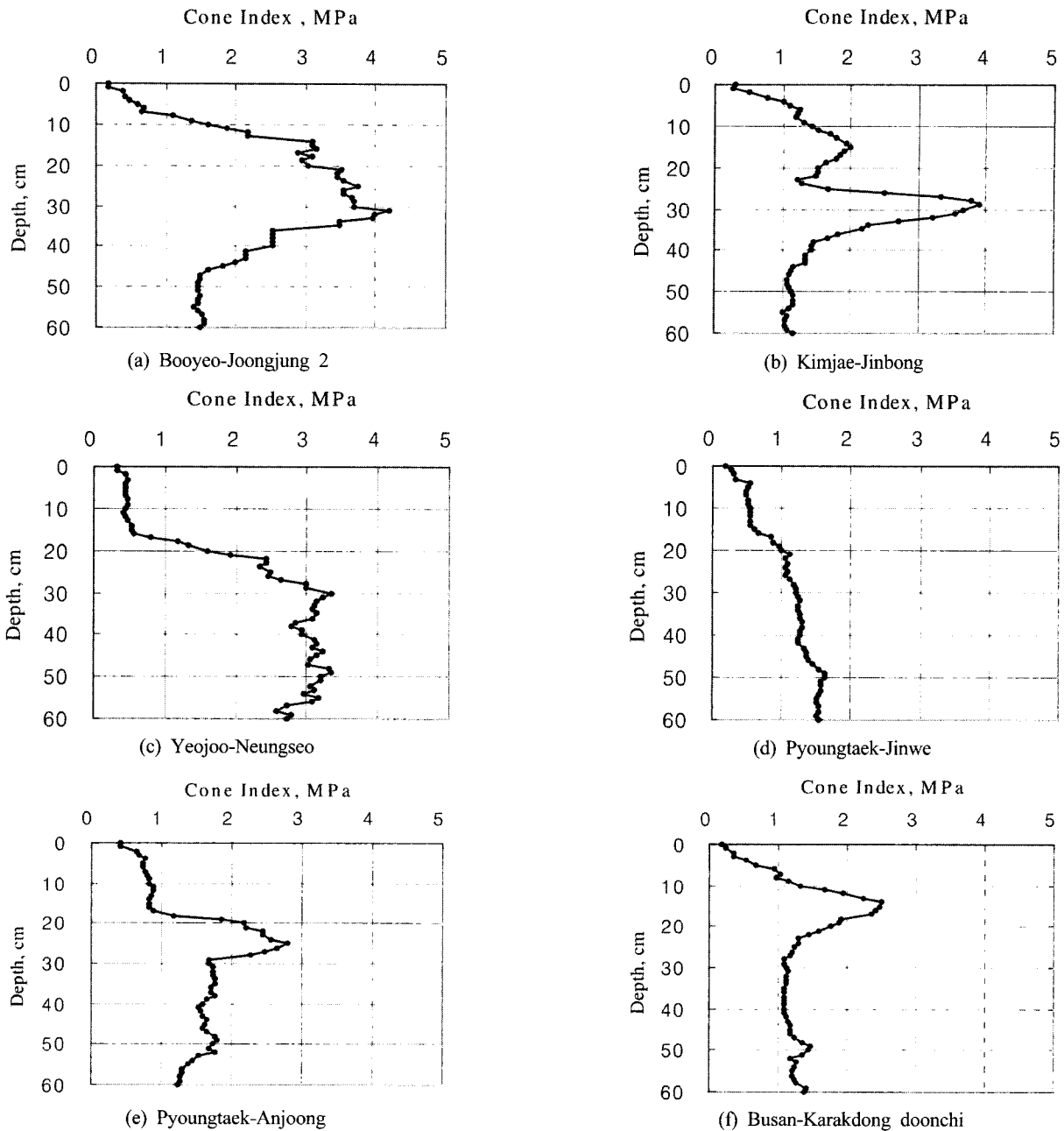


Fig. 7 Classification of CI profiles for various hardpan in selected paddy fields.

그림에서 보는 바와 같이 우리나라 논토양의 경반층의 형태 또는 깊이에 따른 CI 프로파일의 경향은 몇 개의 뚜렷한 형태로 분류가 가능하였다. 이들의 형태를 정리하여 보면 다음과 같다.

- (가) 작토층의 깊이가 낮고 경반층의 두께가 40 cm 이상이며 경반층의 최대 경도의 크기가 4 MPa 이상인 형태, 즉 하나의 혹으로 경반층을 확실히 나타내고 있는 형태
- (나) 경반층이 이중으로 나타나며 작토층의 깊이가 낮으며 경반층의 두께는 크지 않은 형태, 비교적 경반층의 위치를 확실히 알 수 있는 형태

- (다) 경반층의 깊이가 20 cm 이상으로서 작토층은 깊은 편이나 심층부의 경도가 지속적으로 커지며 경반층의 두께가 50 cm 이상으로서 경반층이 확실하지 않은 형태
- (라) 경반층의 경도가 깊이에 따라 아주 천천히 증가하나 경도가 크지 않으며 경반의 형태가 뚜렷하지 않은 형태
- (마) 작토층의 깊이가 크고 경반층이 하나의 피크형태를 하고 있으며 경반의 두께가 크지 않은 형태, 특히 경반층의 최대 경도가 3 MPa 이하인 형태
- (바) (마)의 형태와 비슷하나 작토층의 깊이가 낮은 형태

표 1에는 주요 논토양의 경반층의 물리적 특성을 보여주고 있다. 표는 해당 경반층에 대하여 경반의 평균 토양경도, 토성 그리고 토양 전단력 지수 등 다양한 특성을 보여주고 있다.

표에 의하면 지역, 토성 그리고 토양통에 따라 경반은 다양한 특성을 나타내고 있었다. 경반층의 시작점은 최하 2 cm에서부터 38 cm까지 다양하게 나타났다. 표토부터 경반층의 시

작점까지는 작물이 뿌리를 내릴 수 있는 작토층의 두께를 의미하며 작물학적으로 아주 중요한 의미를 지닌다고 볼 수 있다. 경반층의 끝점은 16 cm에서 59 cm까지로 분석되었다. 나아가 경반층의 두께는 최하 6 cm에서부터 41 cm까지로 분석되었으며, 경반의 평균 토양경도는 최하 1.1 MPa에서부터 3.2 MPa로 측정되었다.

**Table 1.** Hardpan characteristics and composition of soil for selected paddy fields

Region	Item	Composition (%)			Texture	Hardpan starting point (cm)	Hardpan ending point (cm)	Hardpan thickness (cm)	Average cone index of hardpan (MPa)	Cohesion (kPa)	Internal friction angle (deg)
		Sand	Silt	Clay							
seocheon	-seocheon	46.8	35	18.2	CL	16	34	19	1.75	19.17	32.14
booyeo	-joongjung 1	29.9	52.9	17.2	SiCL	10	27	18	2.37	11.67	34.65
booyeo	-joongjung 2	29.2	53	17.8	SiCL	7	32	26	2.93	13.33	20.66
booyeo	-koonsoo	29.8	51.2	19	SiCL	8	32	25	2.25	11.67	32.14
kimjae	-chungha	4.2	69.6	26.2	SiCL	24	41	18	2.71	5.00	26.69
kimjae	-chungha	13.1	64.5	22.4	SiCL	19	26	8	1.66	6.67	23.74
kimjae	-jinbong	7.7	75.3	17	SiCL	20	28	9	1.16	13.33	26.69
kimjae	-jinbong	16.3	68.7	15	SiCL	4	24	21	1.51	8.33	34.65
yeojoo	-heungchun	48.2	40.6	11.2	SL	18	48	31	2.98	15.83	23.74
yeojoo	-heungchun	44.3	42.7	13	SL	26	31	6	1.05	3.33	26.69
yeojoo	-neungseo	56.2	34.6	9.2	SL	18	58	41	2.82	13.33	32.14
yeojoo	-neungseo	44.7	40.7	14.6	SL	24	59	36	3.17	8.33	23.74
yeojoo	-booknae	48	41	11	SL	17	53	37	2.29	22.50	20.66
yeojoo	-booknae	51.1	38.5	10.4	SL	21	47	27	2.59	9.17	26.69
wonjoo	-panboo kumdae	58.2	35.8	6	SL	12	21	10	1.58	10.00	37.02
wonjoo	-sinrim seongnam	55	39	6	SL	18	30	13	2.56	10.00	37.02
pyoungtaek	-seotan	26	54.2	19.8	SiCL	14	30	17	1.28	5.00	26.69
pyoungtaek	-jinwe	18.1	58.1	23.8	SiCL	19	51	33	1.25	5.83	26.69
pyoungtaek	-anjoong	13.6	56.8	29.6	CL	18	29	12	2.23	6.67	39.24
pyoungtaek	-anjoong	7.3	61.1	31.6	CL	24	30	7	1.16	8.33	37.02

**Table 1.** Hardpan characteristics and composition of soil for selected paddy fields (continued).

Region	Item	Composition (%)			Texture	Hardpan starting point (cm)	Hardpan ending point (cm)	Hardpan thickness (cm)	Average cone index of hardpan (MPa)	Cohesion (kPa)	Internal friction angle (deg)
		Sand	Silt	Clay							
	pajoo-joonae	36.7	44.3	19	CL	18	32	15	1.32	3.33	23.74
	pajoo-jori	23.1	54.9	22	CL	27	58	32	1.17	5.00	20.66
	pajoo-joonae	39.5	40.3	20.2	CL	20	54	35	1.26	0.83	23.74
	pajoo-joonae	44.4	37.2	18.4	CL	38	54	17	1.07	5.00	17.44
	pajoo-papyoung	6.2	64	29.8	C	16	31	16	1.82	-5.00	48.52
	pajoo-juksung	15.4	50.8	33.8	C	23	56	34	1.68	2.50	43.30
	chilgok-dongmyoung-namwon	43.9	36.9	19.2	CL	18	32	15	1.26	4.17	34.65
	chilgok-dongmyoung-namwon1	50.3	29.5	20.2	SL	5	18	14	1.56	-1.67	45.15
	chilgok-dongmyoung-namwon1	47.1	34.5	18.4	SL	9	16	8	1.48	0.00	45.15
	chilgok-dongmyoung-namwon1	49	33	18	CL	3	31	29	2.22	3.33	39.24
	daekoo-dansung hwawon	15.1	56.9	28	C	2	31	30	2.27	33.33	32.14
	busan kangseo-karak dongmoon suamnam	10.9	63.5	25.6	SiCL	12	30	19	1.65	21.67	32.14
	busan kangseo-karakdong doonchi	7.4	70.2	22.4	SiCL	7	28	22	1.63	15.00	29.49

표에서 보는 바와 같이, 경북 칠곡군 동명면 남원 1리의 작토층은 10 cm 미만이다. 이는 작물이 뿌리를 내릴 수 있는 토양 깊이가 10 cm도 되지 않는다는 것을 의미하며 이러한 포장은 최소 15 cm 이상의 경운작업을 실시하여 작토층의 깊이를 증가시키는 것이 필요하다. 이와 같이 경반의 깊이가 낮아 경반을 파괴해 줄 필요성이 있는 지역으로는 충남 부여 중정리와 군수리 지역, 대구 달성 화원읍 지역 그리고 부산시 강서구 가락동 지역으로 판단되었다.

경반의 깊이가 깊고 토양강도가 작아 무경운이 가능한 지역으로는 전북 김제 청하면, 여주 북내 흥천 농서면 그리고 경기 파주지역으로 나타났다.

또한 표에서 보는 바와 같이 선택한 33개 지역의 토성은 미사질 식양토가 11곳, 사양토가 10곳, 식양토가 9곳, 식토가 3곳으

로 대부분이 양토 계통으로 분석되었다.

#### 4. 요약 및 결론

경반(hard pan)은 작토층 하부에 있는 단단한 토층을 말하며 논토양에서 경반은 농작업기의 주행을 도와주고 답수시 물의 하부 유출을 막아주는 기능을 한다.

본 연구에서는 원추지수를 이용하여 논토양 경반층의 물리적 특성을 구명하고, 주요 논토양 경반의 물리적 특성을 분석하여 그 특성에 따라 경반을 분류하고자 하였다.

우리나라 논토양의 경반층의 형태 또는 깊이에 따른 CI 프로파일의 경향은 6개의 뚜렷한 형태로 분류가 가능하였다. 또한 경반층의 시작점은 최하 2 cm에서부터 38 cm까지 다양하게

나타났으며 경반층의 끝점은 16 cm에서 59 cm까지로 분석되었다. 나아가 경반층의 두께는 최하 6 cm에서부터 41 cm까지로 분석되었으며, 경반의 평균 토양경도는 최하 1.1 MPa에서부터 3.2 MPa로 측정되었다.

### 참고 문헌

1. Park, J. G., G. S. Lee, S. C. Cho, Y. C. Chang, K. M. Noh and S. O. Chung. 2005. The changes in the physical properties of soil with tillage methods (I). *An International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering* 6(2):39-46.
2. 유숙중, 김호중, 최송렬, 조국현, 최정원. 2001. 생산환경 불량 토양 개량연구 : 중점 논토양 경반층 파쇄에 의한 물리성개선 시험. 농촌진흥청 호남농업시험장, 시험연구보고서2000, pp.236-242.
3. 이재성, 박창영, 박기도, 전원태, 박경배. 1996. 벼 직파재배 환경연구 : 벼 건답직파 경운방법별 토양 이화학적 특성변화 구명 시험. 농촌진흥청영남농업시험장, 시험연구보고서1995 (수도식환분야), pp.532-539.
4. 조인상, 민경범, 김이열, 임정남, 엄기태. 1985. 경운방법의 차이가 토양의 물리성과 수답생육에 미치는 영향. *한국토양비료학지* 18(2):189-193.
5. 최석원, 오영근, 김경옥. 2000. 원추지수를 이용한 경운 정지 작업의 작업성 예측. *한국농업기계학회지* 25(3):195-202.