

## Physicochemical Properties of Soils as Affected by Minimum Tillage and Direct Seeding Cultivation on Dry Rice Paddy

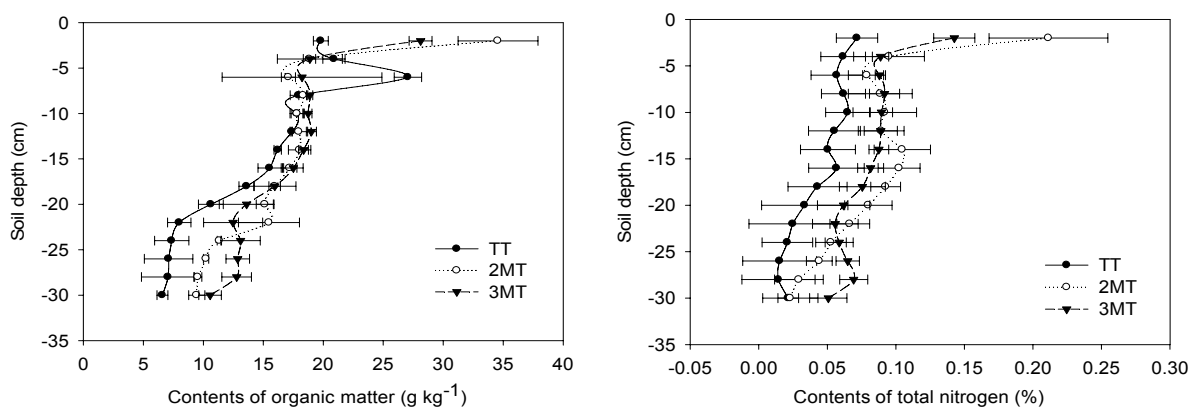
Myung-Chul Seo\*, Ki-Yeong Seong, Hyeon-Suk Cho, Min-Tae Kim, Tae-Seon Park, and Hang-Won Kang

*Crop Environment Research Division, National Institute of Crop Science (NICS), RDA,  
125 Suinro Gwonseon-gu, Suwon, Gyeonggido, 441-857, Korea*

(Received: September 10 2013, Accepted: January 10 2014)

In order to evaluating physicochemical properties of soil under minimum tillage and direct seeding cultivation on dry rice paddy, we conducted to analyze the soil physicochemical characteristics in treatment with 2-year minimum tillage and dry direct seeding (2MT), 3-year minimum tillage and dry direct seeding (3MT), and tillage transplanting cultivation (TT). As results of analyzing soil organic matter (OM) contents with 2 cm soil depth of interval from surface to 30 cm, OM contents with surface soil from 0 to 2MT and 3MT were higher than TT, recorded 34.6, 28.1 and 19.8 g kg<sup>-1</sup>, respectively. But until 20cm in soil depth, it was not so large on the deviation of OM contents among the 3 treatments comparing with 2cm surface. Beneath 20 cm in soil depths, 2- and 3-year, OM contents in TT were distributed to be lower than 2MT and 3MT. The contents of total nitrogen in 2MT and 3MT were higher than the content in TT across the soil profile. Consequently, though minimum tillage and direct seeding farming is obviously the practice to saving of machinery work and labor, other practices such as continuously input OM should be needed to achieve carbon sequestration goal through minimum tillage and direct seeding on dry paddy.

**Key words:** Minimum tillage, Direct seeding on dry paddy, Low carbon farming



The profile of organic matter (left) and total nitrogen (right) contents 2-(2MT) and 3-year (3MT) minimum tillage and dry direct seeding and tillage transplanting cultivation (TT).

\*Corresponding author : Phone: +82312906778, Fax: +82312903773, E-mail: mcseo@korea.kr

§Acknowledgement: This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ009233)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

## Introduction

우리나라 벼 농사의 농작업을 경운, 정지, 이앙, 수확, 건조, 방제 등으로 크게 구분하였을 때 기계화율은 2011년을 기준으로 평균 91.5%이며 건조작업을 제외하면 나머지 농작업 전부가 99%가 넘고 있다 (MFAFF, 2012). 이러한 기계화에 따른 생력화 및 생산성 효율 증대에도 불구하고 농촌 인구의 고령화가 급속히 진행되고 있기 때문에 농법적으로 다른 대안을 찾으려고 하는 시도가 많이 있었으며 재배적인 측면에서 1990년대부터 직파재배를 하였는데 1995년에는 우리나라 벼 재배의 10.6%인 11.7만 ha가 재배되었으나 그 이후로 점차 감소하는 추세이다 (Kim J. T. et al., 2005). 직파재배는 논에 직접 파종을 하기 때문에 초기 제초가 매우 중요한 재배요소이나 제초제 저항성 잡초의 증가에 따른 감소 요인이 상당히 큰 것으로 평가되고 있으며 이에 따른 수량감소 및 다른 형태의 노동력 증가를 초래할 수 있다 (T. S. Park et al., 2011). 우리나라에서는 현재 벼에 대해서는 제초제 저항성 품종육성과 관련한 연구는 매우 미비한 실정 이지만 재배적으로는 여러 가지 방법에 대한 연구들이 수행 되어 왔다 (Chung et al., 2003; Kim et al., 1999; Ryang et al., 1998). 최근에는 논을 무경운 상태로 유지하고 잡초 성 벼가 거의 다 발생할 시점에 비선택성 제초제를 이용하여 제거하여 노동력을 일반 직파재배보다 줄 일 수 있다고 보고된 바 있다 (K. Y. Seong et al., 2013). 무경운 상태 논에 벼 직파재배가 농가에 정착되었을 경우 특히, 대단위 면 적의 논에서는 상당히 많은 노동력을 절감할 수 있을 것으로 생각된다.

한편 논에서 벼 재배시 무경운 또는 최소경운 관련 재배 방법에 관한 연구들이 국내에서 수행되었는데 4년 연속으로 무경운 이상재배시 수량이 매년 경운을 한 처리구에 비하여 67%에 불과하고 다시 경운을 하였을 때 90%이상 수량이 회복된다고 하였다 (Lee, et al. 1996). 벼의 담수표면산파, 어린모, 증묘이앙 등 재배양식별 5년간 무경운 재배를 한 결과 담수표면산파에서 수량이 가장 낮은 것으로 보고되었으며 토심별 토양경도는 경운구보다 증가하는 것으로 나타났다 (Kwon, et al. 1997). 이 연구들에서는 벼 무경운 재배시 수량성에 가장 영향을 미치는 것으로는 잡초의 영향이 가장 큰 것으로 나타났다.

일반적으로 무경운 농법은 저탄소농법으로 탄소를 토양에 축적할 수 있다고 알려져 있으나 무경운의 경우 유기물이 표층에 시비되고 있기 때문에 토양 내 유기물의 대부분은 기존에 있던 토양 유기물이나 작물의 뿌리에 해당된다고 할 수 있다. 작물의 뿌리가 상대적으로 깊게 들어간다고 알려져 있지만 Blanco-Canqui, H., and Lal, R (2008)은 무경운 농법이 적용되고 있는 미국 11개 지역에 대해 경운농법과 함께 60 cm까지 토양 깊이별 토양탄소의 축적량을 조사

한 결과 10 cm까지는 무경운 농법이 토양탄소 함량을 증가시키지만 전체 토양 층위를 보았을 때는 경운농업 보다 크게 축적시키지는 못한다고 보고하였다. 독일에서 장기간 무경운을 재배한 토양에서 층위별 토양탄소의 축적을 경운을 한 포장과 비교하였을 경우 역시 토층 10 cm까지는 현저히 무경운 포장에서 토양탄소 함량이 높으나 그 아래 층에서는 큰 차이를 보이지 않았다고 보고하였다 (Tebruggge and During, 1999). 논에서 벼 재배시 토양의 특성 변화와 관련한 연구는 많지 않으며 앞선 언급한 무경운 상태에서 건답직파재배시 잡초성 벼 등을 제어할 수 있는 장점을 가지고 있는데 대단위 농경지에 적용을 취해서는 무경운보다는 최소경운이라고 할 수 있는 파종기 개발, 토양 특성의 변화 등 다각적인 연구가 필요하다.

본 연구는 최소경운 건답직파 재배에서 장기적인 토양관리를 위해 잡초성 벼를 방제하기 위한 벼 건답직파 최소경운 재배가 연차별로 이루어진 포장에서 토양의 이화학적 특성을 변화를 평가하고자 하였다.

## Materials and Methods

조사된 벼 최소경운 건답직파 포장은 경기도 수원 국립식량과학원 포장으로 토양통은 강서통으로 2010년부터 시작하여 매년 최소 경운구를 만들어 가면서 포장을 조성하였으며 2년 연속 최소경운 건답직파 재배를 한 처리구 (2MT) 3년 연속 최소경운 건답직파 재배를 한 처리구 (3MT)와 매년 경운과 썩레질을 하고 이앙재배를 한 처리구 (IT)를 대상으로 본 시험을 수행하였다. 처리구별 포장의 크기는 10 x 40 m이며 단구제로서 토양시료는 최소경운 재배가 연차별로 이루어진 이듬해 새로운 작기가 시작되기 전인 4월에 채취하였다. 최소경운 건답직파 재배에 사용한 품종은 2010년 운광벼, 2011년, 2012년은 남평벼를 사용하였으며 파종 시기는 2010년, 2011년, 2012년 각각 5월 3일, 5월 6일, 4월 30일, 5월 4일이었고 파종량은 모든 년도가 동일한 70 kg ha<sup>-1</sup>이었다. 파종은 파종기를 이용하여 조파간격 27 cm, 최소경운폭 4 cm로 파종할 부분만 경운을 하고 이 파종골에 법씨를 줄뿌림 하였다. 잡초방제를 위하여 벼 출아전 토양 처리 제초제를 파종 후 10일 및 15일에 처리하였다. 이와 같은 방법으로 최소경운 건답직파재배를 한 논 토양을 처리구별로 채취하여 아래와 같은 특성을 분석하였다.

먼저 토양 세부 층위별 토양 유기물, 질소 함량 분포를 평가하기 위하여 먼저 처리구별 표층의 식물잔재를 제거한 후 지름 2.5 cm, 길이 30 cm의 코어 샘플러를 이용하여 각 처리별 3개 지점에서 토양구조를 유지하며 시료를 채취하여 상층위부터 2 cm 간격으로 토양을 절단한 후 토양분석을 위한 시료조제를 하였다. 유기물 분석은 1,000°C 회화로에서 연소시켜 발생하는 이산화탄소의 양을 측정하여 탄소

함량을 분석 (Elementar, Hanau German)하여 유기물 계수 1.724를 곱하여 산출하였다 (D. W. Nelson and L. E. Sommer, 1996). 이와 동시에 연소법을 이용하여 채취된 시료에 대하여 층위별 전질소 함량을 평가하였다. 최소경운 연수별 토양의 화학적 특성의 차이를 알아보기 위해 각 처리 포장에서 무작위 3반복으로 표토와 심토를 채취하여 풍건하여 2 mm 체를 통과시킨 후 얻어진 시료를 이용하여 pH, EC, T-N, T-P를 비롯한 양이온 함량을 농촌진흥청 토양화학분석법 (Rural Development Administration (RDA), 2003)에 준하여 분석을 실시하였다.

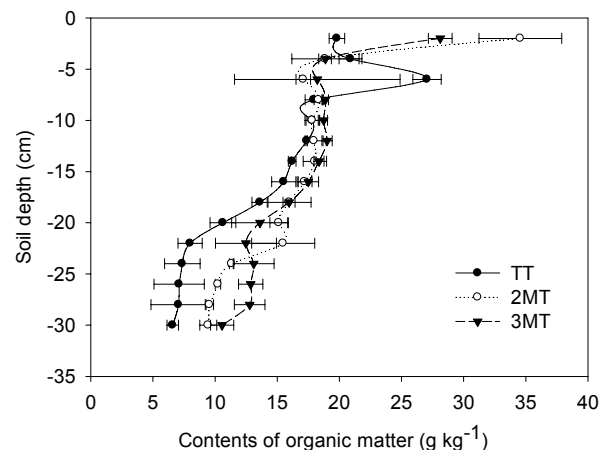
한편 무경운 농법을 계속한 포장에서 토양의 물리적 특성을 평가하기 위하여 250 ml 코어를 이용하여 표토 및 심토를 채취하여 코어의 윗면까지 물을 채워 24시간 방치하여 토양을 포화시켰다. 포화된 코어는 센서가 연결된 길이가 상이한 소형 텐시오미터 2개를 하단에서 삽입하고 저울에 올려 놓고 자연적으로 건조되도록 두면서 코어내의 토양수분장력의 변화 및 코어의 무게 변화를 2-3일간 10분 간격으로 측정 후 Shindler et al. (2010)가 제시한 수식에 따라 대기압에서 토양수리특성을 평가하였으며 측정이 완료된 시료는 105°C에서 24시간 건조한 후 무게를 측정하여 가비중을 측정하였다 (HYPROP, UMS, Germany).

토양구조를 기계적으로 또는 이화학적으로 파괴하는 힘에 대한 저항성을 나타내는 입단안정성을 평가하기 위하여 입단안정성 기기를 사용하여 아래와 같은 방법으로 분석을 하였다 (Eijkelkamp, Giesbeek, Netherlands). 앞서 층위별로 시료채취한 토양을 풍건하여 조제한 후 4 g의 시료를 60 mesh 체에 넣고 분무기를 이용하여 일정정도 수분을 가하여 3분간 증류수가 들어가 있는 캔에 넣어 3분간 1.3 cm 높낮이로 분당 35회 주기로 상하로 흔들어 준 후 체에 있는 물이 더 이상 흘러내리지 않을 때까지 방치한 후 토양의 pH가 7이상인 경우 리터당 2 g의 sodium hexametaphosphate를, pH가 7이하인 경우 리터당 2 g NaOH를 첨가한 분산제 100 ml을 캔에 넣고 8분간 상하진동을 시키면서 고무막대로 입단을 부수었다. 이 때 추출되어 캔에 남아있는 물질이 내수성 입단의 양이 되며 2개의 캔은 110°C에서 건조시켜 무게를 측정하고 분산제가 들어있는 경우 측정무게에서 0.2 g을 더 빼주어 각 무게를 측정하였다. 이와 같은 과정을 거쳐 측정된 무게를 이용하여 분산제를 가한 캔의 토양무게를 증류수와 분산제를 통화한 전체 토양 무게로 나누어 내수성 입단율(%)를 산정하였다.

## Results and Discussion

최소경운 건답직파 재배 2년차, 3년차 토양과 경운 이앙 재배 토양을 2 cm 간격으로 층위별 유기물 함량의 분포를 분석한 결과는 Fig. 1과 같았다. 층위별 토양 유기물의 분포

를 보면 가장 위쪽 1-2 cm 깊이의 토양에서 최소경운 2년차가 34.6 g kg<sup>-1</sup>로 가장 높았으며 다음으로 3년차 28.1 g kg<sup>-1</sup>, 경운재배 19.8 g kg<sup>-1</sup> 순으로 최소경운과 경운과의 차이가 크게 나타났으며 이는 최소경운의 경우 표층에서 생육한 작물 및 잡초의 잔재가 분해되면서 표층에 집적되는 양상을 나타내는 것으로 판단되었다. 반면, 2-4 cm 층위에서는 유기물 함량이 역전되는 현상을 나타내어 4-6 cm에서는 경운 이앙재배구가 27.1 g kg<sup>-1</sup>, 3년차 최소경운 건답직파구가 18.2 g kg<sup>-1</sup>, 2년차 최소경운 건답직파구가 17.1 g kg<sup>-1</sup>로 경운 이앙재배구가 가장 높은 편차로 함량이 많았으며 이는 경운을 통해 표층 등의 작물 등이 토양속에 혼합되어 분해되고 잔존하게 된 것으로 추정된다. 그러나 6-8 cm부터 역전되어 깊이가 깊어질수록 경운 이앙재배구의 유기물 함량이 최소경운 직파재배구보다 유기물 함량이 낮게 분포되고 있는 양상을 나타내고 있다. 토양 깊이 20-22 cm 층에서 함량의 차이가 가장 컸으며 최소경운 2년차가 15.5 g kg<sup>-1</sup>로 가장 높았으며 다음으로 3년차 12.5 g kg<sup>-1</sup>, 경운재배 8.0 g kg<sup>-1</sup>로 나타났다. 이러한 패턴은 경운을 하면서 심토에 존재하는 뿌리 등의 유기물 분해가 최소경운 보다 상대적으로 많거나 또는 최소경운에 따른 뿌리의 발달이 경운 이앙재배보다 좋은 것으로 추정할 수 있다. 하지만 Yoo et al. (1997)에 따르면 배수가 약간 불량한 전북통에서 4년간 무경운 재배를 하였을 때 표토의 유기물 함량은 경운구보다 무경운구의 증가량이 많았으나 상대적으로 심토의 경우는 경운구에서 유기물 함량이 약간 감소하는 경향을 나타내어 본 시험과는 상이한 결과를 나타내었으며 무경운 연수가 증가할수록 심토의 근신장은 적어지고 표토의 뿌리분포량이 증가하는 것으로 보고하였다. 표토의 뿌리 분포량이 무경운



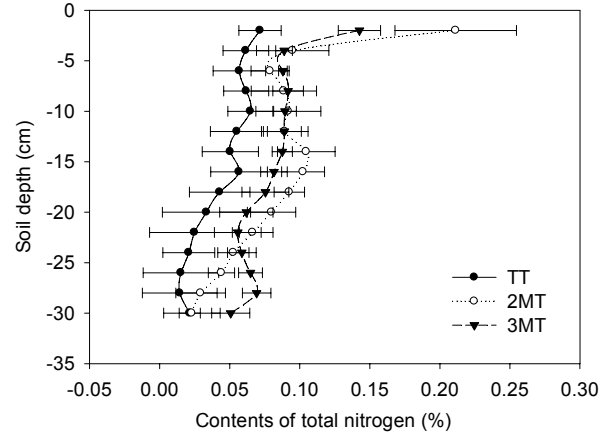
2MT: 2-year minimum tillage and dry direct seeding,  
3MT: 3-year minimum tillage and dry direct seeding,  
TT: tillage transplanting cultivation

**Fig. 1.** The profile of organic matter contents with 2- and 3-year minimum tillage and dry direct seeding and tillage transplanting cultivation.

며 직파재배에 따른 토층별 뿌리분포가 10 cm까지는 무경운구가 경운구에 비해 1.9-5.8% 많이 분포하였으나 10-20 cm와 20-30 cm 토층에서는 오히려 경운구에서 많이 분포하지만 유기물 함량은 오히려 감소하는 양상을 나타내었다 (Cho, et al, 1995). 본 연구에서 조사한 결과와 앞선 연구들과 차이를 보이는 이유로는 이앙재배와 직파재배 등 농법의 차이, 논의 경우 지속적인 관개를 하기 때문에 물의 이동에 따른 유기물의 동반이동, 지하로 침투되는 용탈량, 파종시 토양의 교란 등 다양한 원인을 유추해 볼 수 있다. 최소경운 재배에서 유기물 시비는 표층에 국한되기 때문에 심토까지 뿌리 신장에 의한 유기물 축적은 크게 유리하다고 볼 수만은 없을 것으로 사료된다.

2 cm 단위 토층별 전질소 함량 분포는 Fig. 2와 같았다. 최상위 토층은 유기물 함량과 유사한 양상을 나타내었으나 대부분의 토층에서 질소함량이 최소경운 건답직파재배구에서 높게 분포하고 있는 것으로 분석되었다. 일반적으로 토양의 질소함량은 유기물과 동반하여 나타나는 경우가 많으나 본 연구결과는 상이한 결과를 나타내었는데 Table 1에서 나타난 바와 같이 CN ratio가 경운 이앙 재배구에서 상대적으로 높게 나오고 있다. 일반적으로 토양에서 미생물의 CN ratio는 10 내외로 토양에서 CN ratio는 10-20 내외로 분포

한다. Table 1에서 보는 바와 같이 최소경운 건답직파재배구의 CN ratio는 10전후에서 분포하지만 경운 이앙재배구의 경우는 15이상으로 상대적으로 높은 양상을 나타내었다.



2MT: 2-year minimum tillage and dry direct seeding, 3MT: 3-year minimum tillage and dry direct seeding, TT: tillage transplanting cultivation

**Fig. 2. The profile of total nitrogen contents with 2- and 3-year minimum tillage and dry direct seeding and tillage transplanting cultivation.**

**Table 1. The profile of C/N ratio according to soil depth at minimum tillage and dry direct seeding on paddy farming.**

Soil depth sampled (cm)	TT*	2MT**	3MT***	Soil depth sampled (cm)	TT	2MT	3MT
0-2	16.0	9.5	11.4	16-18	18.4	10.0	12.3
2-4	19.7	11.5	12.3	18-20	18.4	11.0	12.8
4-6	27.6	12.6	12.0	20-22	18.6	13.5	13.0
6-8	16.8	12.0	11.9	22-24	20.5	12.5	12.9
8-10	15.9	11.2	12.1	24-26	27.0	13.4	11.5
10-12	18.3	11.7	12.4	26-28	28.4	18.9	10.7
12-14	18.6	10.0	12.2	28-30	17.8	23.8	12.1
14-16	15.9	9.7	12.4	average	19.9	12.8	12.1

\*: 2-year minimum tillage and dry direct seeding, \*\*:3-year minimum tillage and dry direct seeding, \*\*\*: tillage transplanting cultivation

**Table 2. The chemical properties of surface and subsurface soil depth at minimum tillage and dry direct seeding on paddy farming.**

		pH	EC	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ca	K	Mg	Na
		1:05	ms um <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	-----	cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup>	-----	
2MT*	Surface	6.61	42.39	95.45	5.27	0.17	1.19	0.32
	Sun-surface	6.71	51.07	69.34	5.71	0.15	1.25	0.35
3MT*	Surface	6.55	50.43	100.85	5.03	0.11	1.10	0.34
	Sun-surface	6.28	51.95	74.73	4.91	0.11	1.12	0.35
TT*	Surface	6.25	63.30	101.74	5.10	0.19	1.09	0.38
	Sun-surface	6.68	47.80	51.43	5.20	0.14	1.15	0.36

\*: 2-year minimum tillage and dry direct seeding, \*\*:3-year minimum tillage and dry direct seeding, \*\*\*: tillage transplanting cultivation

벼 재배를 하는 논외의 경우 무경운 또는 최소경운이 토양탄소 축적에 좋은 방법이라는 결정적인 증거는 많지 않지만 밭의 경우는 토양 탄소격리에 무경운 농법이 상당히 효과적이라고 알려져 있다. 30년 이상 무경운으로 옥수수과 밀을 재배한 토양에 분포하는 유기탄소 함량이 경운한 토양보다 11.4%가 더 많이 축적된 것으로 나타났다 (Limousin and Tessier, 2007).

최소경운 건답직파재배에 다른 화학성의 변동양상을 파악하기 위하여 표토와 심토에 대한 pH, EC,  $P_2O_5$ 를 비롯한 양이온 함량을 분석하였으며 그 결과는 Table 2와 같았다. 표토층에서는 최소경운을 2년차, 3년차 처리구가 각각 6.61, 6.55로 경운 이양재배구의 6.25보다 높게 나타났으며 EC의 경우는 경운 이양재배구가 63.30으로 최소경운 2, 3년차 처리구의 50.43, 42.39 보다 높게 나타났다. 심토층에서의 EC의 차이는 처리간 크지 않아 전기전도도의 변동은 양분이 많은 표토층에 집중되고 있음을 알 수 있었다. 한편 표토에서 유효인산의 경우 처리간 큰 차이를 나타내지 않고  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  내외 수준을 최소경운을 지속하여도 유지가 되었고 오히려 심토에서는 약간 증가하는 경향을 나타내었는데 동일한 양분관리에 있어서 최소경운 직파재배에서 뿌리의 발달이 더 좋았거나 기타 잡초의 생육이 상대적으로 많은 것에 기인한 것으로 추정된다. 그 밖에 칼슘, 칼륨, 마그네슘, 나트륨의 처리간 농도는 크게 차이를 나타내지 않았다. 일반적으로 논에서 유효인산이나 양이온의 경우 토양에 흡착되거나 식물체에 흡수되고 용탈량이 많지 않기 때문에 일반적으로 지하 투수량이 많은 최소경운 건답직파재배에서도 관행적인 경운 이양재배와 크게 차이가 없는 것으로 판단된다. 무경운 담수직파재배와 무경운 이양재배를 5년간 하였을 때의 토양의 가비중과 토양 경도는 담수직파재배 및 이양재배 모두 무경운 연수가 증가할수록 증가하지만 pH나 가용성 인산의 경우 크게 차이를 나타내지 않는다는 연구결과와 본 연구 결과가 유사한 양상을 보였다 (Yoon B. G et al., 1996).

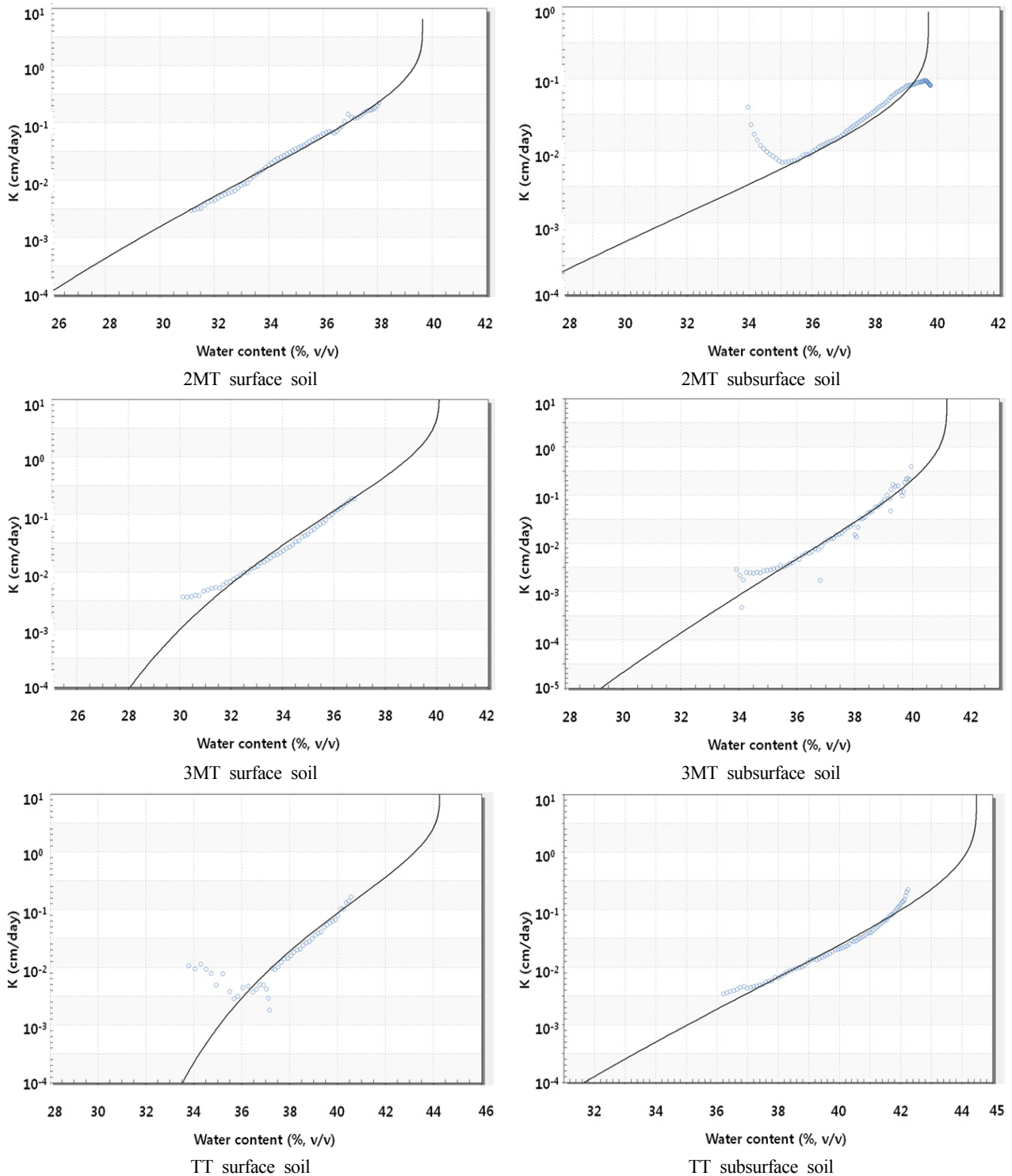
토양의 토양수분특성곡선을 작성하기 위해서 사용하는 일반적인 방법은 충분한 건조상태를 유지하기 위하여 압력을 가하는 별도의 수단이 필요하다. 그러나 본 연구에서 사용한 방법은 토양 샘플한 코어가 대기압 상태에서 증발하면서 대기 중 공기가 들어가고 이에 따른 토양의 장력의 변화를 토양 수분함량과의 관계를 보는 것으로 측정범위는 포화상대인 0 kPa에서 최대 70–90 kPa정도까지이며 제시된 토양수분특성 추정식 (Shindler et al., 2010)에 따라 토양수분특성과 수리전도도를 평가한다. 이와 방법을 이용하여 경운이양재배 2, 3년차 최소경운 건답직파재배 처리구의 표토와 심토에 대하여 분석한 결과는 Fig. 3과 같았다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 최소경운 건답직파를 하였을 때 토양수분의 포화정도가 먼저 차이가 나는 것을 알 수 있었는데

2, 3년차 최소경운 건답직파재배 처리구의 경우 표토, 심토 모두 토양수분함량이 40% 내외에서 포화상태에 이르고 수리전도도가 최대에 도달하고 있으나 경운이양재배구의 경우 44% 내외에서 포화상태에 이르고 수리전도도가 최대에 이르고 있었다. 또한 물의 이동속도가 매우 낮아지는 상태라 볼 수 있는  $10^{-4} \text{ cm day}^{-1}$ 에 이를 때의 토양 수분함량도 경운이양재배의 경우 표토와 심토에서 각각 34%, 32% 정도인 반면 2년차 최소경운 건답직파재배구의 경우 26%, 28%이고 3년차 최소경운 건답직파재배구의 경우 28%, 29%로 나타났다. 최소경운 건답직파 재배를 하였을 경우 관행적인 경운 이양재배를 하는 경우보다 수리전도도가 높아지는 양상을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 양상은 경운을 하였을 때 토양의 공극이 재편성되면서 토양 내 물의 이동을 전년도와 비슷한 상태로 유지할 수 있지만 최소경운 또는 무경운 재배를 할 경우 토양내 작물, 잡초 등의 뿌리 등이 부식되면서 생기는 공극 형성이 많이 생겨 투수속도를 증가시키는 것으로 판단된다. 한편, 최소경운 2년차 재배구와 3년차 재배구 간의 차이는 크게 나타나지 않았다. Park H. K. et al. (1996) 등의 보고에 따르면 3년간 무경운 재배를 한 토양의 전반적인 고상의 비율이 높은 것으로 평가되었으며 표토의 경우도 무경운이 47.9%, 경운재배가 41.5%로 현저한 차이를 나타내고 있으며 이러한 양상은 토양 내 15–20 cm까지도 계속되어 무경운이 60.3%, 경운이 56.7로 차이가 있는 것으로 보고되어 본 시험에서 얻어진 결과와 비슷한 양상을 나타내었다. 고상비율이 높을수록 반드시 수리전도도가 높다고 할 수는 없지만 입단의 형성이 잘 되어 있으면 토양의 공극형성 양상에 따라 수리전도도가 높은 것으로 평가할 수 있다. 이러한 양상으로 미루어 볼 때 일단 최소경운 또는 무경운을 통해 토양구조가 일단 변화되면 어느 정도까지는 유지가 되면서 서서히 수리전도도의 속도도 증가할 것으로 예상된다. 이러한 결과는 관개용수를 많이 사용하는 벼 재배시 최소경운 또는 무경운 건답직파재배와 같은 영농방법을 도입할 경우 관개용수의 공급이 원활한 지역을 선정해야 하며 장기간 최소경운, 무경운 재배에 따른 투수속도가 지나치게 빨라졌을 경우에는 최소한의 써레질 등을 통해 토양의 투수속도를 제어하는 것이 필요할 것으로 생각되었다.

처리구 토양의 입단 안정성을 평가하기 위해 내수성입단의 양을 측정된 결과는 Fig. 4와 같았다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 3.5 cm 간격으로 토양을 구분하여 내수성 입단비율을 각 처리구별로 분석한 결과 표토 근처인 0–3.5 cm 토양의 경우 3년차 최소경운 건답직파재배구가 74.7%로 가장 높았으며 다음으로 2년차 최소경운 건답직파재배구가 61.0%, 경운 이양재배구가 45.46%로 가장 낮게 나타났다. 다음 토양 층위인 3.5–10.5 cm 토양층위에서는 2년차 최소경운 건답직파재배구가 67.4, 65.0%로 다른 처리구에 비하여 가장

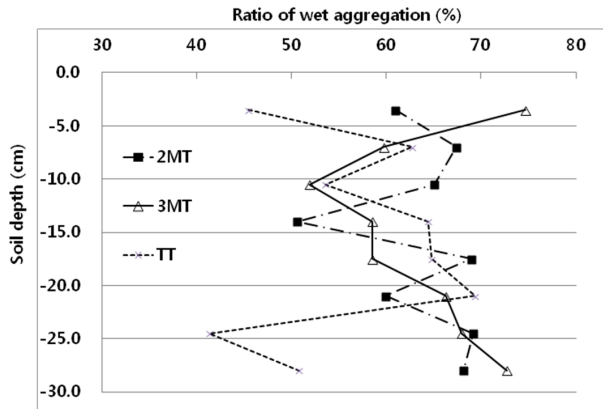
높게 나타났다. 이후 21 cm 깊이의 토양층위까지는 3처리구가 비슷하게 혼재되는 양상을 나타내었으며 21 cm 이하의 깊이인 21.0–24.5 cm, 24.5–28 cm의 토양층위에서는 2년차 최소경운 건답직파재배구가 각각 69.1, 68.1%, 3년차 최

소경운 직파재배구가 67.9, 72.7%로 중간층위의 수준과 비슷하거나 약간 증가한 반면 경운 이랑재배구는 41.4, 50.8%로 최상위 표층토와 비슷한 수준으로 급격히 낮아지는 양상을 나타내었다. 그러나 이들의 반복간 표준편차가 커서 처



2MT: 2-year minimum tillage and dry direct seeding, 3MT:3-year minimum tillage and dry direct seeding, TT: tillage transplanting cultivation

**Fig. 3.** The hydraulic conductivities of surface and subsurface soil according to soil water contents with 2- and 3-year minimum tillage and dry direct seeding and tillage transplanting cultivation.



2MT: 2-year minimum tillage and dry direct seeding,  
3MT: 3-year minimum tillage and dry direct seeding,  
TT: tillage transplanting cultivation

**Fig. 4.** The profile of ratio of wet aggregation contents with 2- and 3-year minimum tillage and dry direct seeding and tillage transplanting cultivation.

리간의 유의성은 없는 것으로 평가되었으며 지속적인 혐기 상태로 존재하는 논토양에서는 최소경운이 입단형성에 큰 차이를 가져오지는 못하였다. 입단 형성입단을 형성하는 데 있어서는 다양한 요인이 있을 수 있지만 가장 일반적으로 알려져 있는 것은 토양내 식물의 뿌리와 유기물 그리고 이를 이용하는 미생물의 활성이라 볼 수 있다. 이러한 관점에서 접근하여 보았을 때 최소경운은 겹답직파재배를 하였을 경우 Fig. 1의 결과와 상당한 연관이 있는 것으로 판단되며 토양 깊이 20-30 cm까지도 뿌리의 활동이 경운 이양재배구보다 높아 내수성 입단의 비율도 함께 차이가 나는 것으로 추정할 수 있다. 최근 기후변화에 따른 저탄소 농업이 주목을 받고 있는 가운데 무경운 농업이 경운에 소요되는 에너지를 절약하고 토양의 탄소함량을 증가시키는 농업으로 많이 알려져 있다. 논 농사는 기계화가 많이 되어 있기 때문에 기계의 사용 횟수와 노동력을 줄이는 것이 분명 저탄소 농업에 해당될 것으로 본다. 본 연구결과로 미루어 보았을 때 재배에서 노동력을 가장 줄일 수 있을 것으로 기대되는 직파재배와 함께 최소경운 농업은 유기물이 토양에 축적되는 부분은 크게 기여하지는 못할 것으로 생각되지만 투수성 등의 토양의 구조를 변화시켜 뿌리로의 산소공급 등을 원활하게 할 수 있는 장점을 가지고 있는 것으로 평가된다. 그러나 투수성의 증가로 물 소모량이 많아 질 수 있기 때문에 향후 추가 연구를 통해 최대 물 소모량을 견딜 수 있는 최소경운 또는 무경운 재배기간을 설정하는 것이 중요할 것으로 사료된다.

## References

Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (MFAFF),

- Republic of Korea, 2012, Agricultural & Forestry statistical yearbook 2012, Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (MFAFF), Republic of Korea, pp. 250.
- Kim, J.T., U.J. Joo, K.W. Park, and J.N. Lee, 2005. Estimation of the water requirement with the farming condition in paddy field, Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference, 2005 May 01 pp.1445-1449.
- Park, T.S., I.Y. Lee, K.Y. Seong, H.S. Cho, H.K. Park, J.K. Ko, and U.G. Kang, 2011. Status and Prospect of Herbicide Resistant Weeds in Rice Field of Korea, Kor. J. Weed Sci. 31(2):119-133.
- Chung, N.J., J.H. Kim, Y.S. Kang, and J.K. Kim, 2003. Weedyrice control by maleic hydrazide (MH) II. Effects of MH application on weedy rice control and germination frequency of cultivated rice in direct-seeded dry paddy field. Korean J. Weed Sci. 23(1):48-53.
- Kim, J.S., H.C. Cho, and S.Y. Ma, 1999. Control of red rice and barnyardgrass with oxadiazon, molinate and thiobencarb preseeded soil-incorporated in dry-seeded rice. Korean J. Weed Sci. 19(4):313-319.
- Ryang, H.S., J.K. Kim, E.S. Kyoung, J.S. Kim, and S.Y. Ma, 1998. Establishment of control system of weedy rice (*Oryza sativa*) and barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in directseeded rice. Korean J. Weed Sci. 18(2):106-115.
- Seong, K.Y., J.T. Lee, T.S. Park, H.S. Cho, M.C. Seo, M. H. Kim, and H.W. Kang, 2013. Control of Weedy Rice Using Minimum Tillage Direct Seeding of Rice on Dry Paddy, Weed Turf. Sci. 2(3):322-326, 2013.
- Lee, W.H., C.Y. Kim, and B.S. Choi, 1996. Evaluation of limit year for rice no-tillage cultivation. Annual research report at Gyeongsangbuk-do agricultural research & extension service in 1996 in Korea. pp. 174-177.
- Kwon, O.D., S.E. Kim, J.Y. Lee, H.G. Park, H.W. Kim, and J.O. Goo, 1997. Evaluation of limit year for rice no-tillage cultivation according to cultivation methods. Annual research report at Jeonlanam-do agricultural research & extension service in 1997 in Korea. pp. 46-55.
- Blanco-Canqui Humberto and Lal R., 2008, No-tillage and soil-profile carbon sequestration: An on-farm assessment. Soil Sci. Soc. Am. J. 72:693-701
- F. Rebrugge and R. -A. During. 1999. Reducing tillage intensity-a review of results from a long-term study in Germany. Soil & Tillage Research. 53:15-28
- Lee, G.Z., Y.S. Choi, S.K. Yang, J.H. Lee, and S.Y. Yoon, 2012. Analysis of consumption of homemade organically processed food analysis of the carbon emission reduction effect from no-tillage in pepper (*Capsicum annum L.*) cultivation. Korean J. Organic Agri. Vol. 20:503-518.
- Nelson, D.W. and L.E. Sommer, 1996. Methods of soil analysis part 3 chemical methods, Soil Sci. Soc. America. pp. 961-1010
- Rural Development Administration (RDA). 2003. Standard measurement and analysis in agricultural research and development,

- RDA, Suwon, Korea.
- Uwe Shindler, Wolfgang Durner, G. von Unold, L. Mueller, and R. Wieland. 2010. The evaporation method: extending the measurement range of soil hydraulic properties using the air-entry pressure of the ceramic cup. *J. Plant Nutr. Soil Sci* 173:563-572.
- Yoo, C.H., B.W. Shin, J.H. Jeong, S.S. Han, S.J. Kim, and S.S. Han. 1997. Changes of soil physico-chemical properties under different tillages of paddy soil. *J. Korean Soc. Soil. Sci. Fert.* 30(2):140-145.
- Cho, H.J., I.S. Jo, B.K. Hyun, and J.S. shin, 1995. Effects of different tillage practices on changes of soil physical properties and growth of direct seeding rice. *J. Korean Soc. Soil. Sci. Fert.* 28(4):301-305.
- Limousin, G. and D. Tessier, 2007. Effects of no-tillage on chemical gradients and topsoil acidification. *Soil & Tillage Research* 92:167-174.
- Yoon, B.G., H.K. Kim, and I.J. Park, 1996. The study of technology for saving of labor cultivation on rice paddy farming. Annual research report at Jeonlanam-do agricultural research & extension service in 1996 in Korea. pp. 478-487.
- Park, H.K., S.S. Kim, N.H. Back, S.J. Suk, G.H. Park, and S.Y. Lee, 1996. Rice growth and yield at different cultural methods under no-tillage condition. *Korean J. Crop Sci.* 41(4):420-428.