

## Effects of No-tillage Dry-seeding on Rice Growth and Soil Hardness

Jong-Seo Choi, Sook-Jin Kim, Jeong Hwa Park, Shingu Kang, Ki-Do Park<sup>1</sup>, and Woonho Yang\*

*Department of Central Area Crop Science, NICS, RDA, Suwon, 16613, Korea*

<sup>1</sup>*Crop Foundation Research Division, NICS, RDA, Wanju, 55365, Korea*

(Received: September 26 2016, Revised: November 7 2016, Accepted: November 9 2016)

**No-tillage dry-seeding of rice can offer potential benefits by reducing time and labor cost compared with conventional tillage practices. This study was conducted to investigate the effects of no-tillage dry-seeding on rice growth and soil hardness in comparison with other rice cultivation methods, machine transplanting and wet-hill-seeding on puddled paddy. The seedling stand fell within optimum range for both no-till dry-seeding and wet-hill-seeding on puddled paddy. Plant height, number of tillers and SPAD values in no-tillage dry-seeding cultivation were higher than those observed in other methods. There were no significant differences in grain yield of rice among three cultivation methods. The quality characteristics of milled rice grown in no-tillage dry-seeding were similar to those grown in other cultivation methods. Soil hardness in top 10 cm depth was significantly higher in no-tillage dry-seeding than other cultivation methods, while soil hardness below 10 cm depth was highest in machine transplanting cultivation. Results indicate that no-tillage dry-seeding practice is comparable to conventional tillage system in terms of seedling establishment, growth, yield and grain quality.**

**Key words:** Conservational tillage, Direct seeding, Transplanting, Wet-hill-seeding, Puddled paddy

**Rice yields and yield components under different rice cultivation methods for two years.**

Treatments	Heading date		No. of panicle per m <sup>2</sup>	No. of spikelets per panicle	Ripened grain ratio (%)	1000 grain weight of brown rice (g)	Milled rice yield (Mg ha <sup>-1</sup> )
	2014	2015					
Tillage transplanting	8.22	8.21	402b	88.7ns*	92.5a	23.6a	6.02ns
Wet-hill-seeding on puddled paddy	8.26	8.23	446ab	95.7ns	89.0b	23.0b	5.92ns
No tillage direct seeding on dry paddy	8.28	8.27	495a	93.0ns	85.0c	22.9b	5.93ns

\*not significant ( $P > 0.05$ ).

†Values with the same letter in a column are not significantly different at 5% level by DMRT.

\*Corresponding author: Phone: +82316954130, Fax: +82316954095, E-mail: whyang@korea.kr

§Acknowledgement: This study was conducted by support of "Cooperative Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ01005502)", Rural Development Administration, Republic of Korea.

## Introduction

우리나라는 농촌 인구의 지속적인 감소와 임금상승, 고령화 등으로 벼 생력재배의 필요성이 점차 높아지고 있어 직파재배 등의 대안 마련이 시급하다. 벼 직파재배 면적은 90년대 초 보급이 시작된 후 1997년 전체 벼 재배면적의 10.5%까지 증가했으나 입모불안정, 잡초성벼 발생 등 생산기술의 안정화가 이루어지지 않아 2010년에는 전체 벼 재배면적의 3% 수준까지 감소하였다 (Choi et al., 2013; Kim et al., 2002; Seong et al., 2013). 최근 국내에서 개발된 벼 직파재배 기술인 무눈점파재배는 기존의 직파재배에 비해 생육상태가 안정적이어서 농가 보급이 추진되고 있는데, 생력효과가 못자리 및 이앙작업에서는 확인되었지만 경운과 정지 작업에서는 뚜렷하지 않은 것으로 알려져 있다 (RDA, 2013; Shon et al., 2012).

벼 무경운 직파재배는 무눈점파재배 등의 경운 직파재배 방식에서 필요한 파종 전 경운·정지작업까지 생략할 수 있어 생산비 절감 및 생력효과가 매우 높다고 보고되어 있다 (RDA, 2013). Chung and Kim (2000)은 경운 직파재배시 ha당 640,000원의 생산비가 절감되나 무경운 직파재배시에는 ha당 1,220,000원을 절감할 수 있다고 하였다. 또 무경운 조건에서 벼를 재배하면 잡초 종자의 토양 유입을 억제하여 직파재배시 가장 문제가 되는 잡초성 벼에 대한 경종적 방제 가능성이 높은 것으로 보고되기도 하였다 (Chung et al., 2000; Kim et al., 2002; Seong et al., 2013). 무경운 재배는 그밖에도 토양유실 저감, 유기물 축적, 온실가스 발생량 감소 등의 장점이 있는 것으로 알려져 있어 미국, 호주, 중국 등에서 도입이 빠르게 확산되는 추세이다 (Hong et al., 2003; NYAES, 1999).

무경운 직파재배는 파종시 물관리에 따라 건답직파와 답수직파로 구분할 수 있는데, 답수직파는 종자가 토양 표면에 뿌려지므로 도복 우려가 크고 입모율이 떨어지지만, 건답직파는 전작물의 그루터기 사이에 작조 파종기 등을 이용하여 종자를 땅속에 파종하므로 파종속도가 빠르고 답수직파에 비해 입모 안정성이 큰 이점이 있다 (Kim et al., 1997; Kwon et al., 2002; Lee et al., 1992; NYAES, 1999; RDA, 2013). 외국에서는 토양교란을 최소화 할 수 있는 무경운 직파 파종기가 다수 개발되어 보급되고 있지만, 국내에서는 벼 파종골 주위가 일부 경운되는 부분경운 직파기나 경사지 발작물 등에 적용할 수 있는 부분경운 작업기 등이 일부 연구된 수준으

로 아직 상용화가 미흡한 실정이다 (Lee et al., 2014; NICS, 2010).

따라서 본 연구는 논에서 무경운 파종기를 이용한 건답직파 재배시 벼의 생육·수량 특성과 토양의 경도변화 등을 조사하고 이를 관행 경운 기계이앙재배 및 무눈점파재배 등 기존의 재배법과 비교 분석함으로써 지속가능한 저투입 벼 재배 기술 개발을 위한 기초자료를 제공하기 위하여 수행되었다.

## Materials and Methods

본 시험은 2014년부터 2015년까지 2년간 수원의 국립식량과학원 답작포장 (N37°16'22.2" E126°59'38.4")에서 실시하였다. 시험토양은 신흥토양으로 양토 (loam)이며 입도분포는 모래 41%, 미사 40%, 점토 19%이고 시험 전 화학성은 Table 1과 같다. 토양 화학성은 대체로 일반적인 논 토양 적정범위에 속하였으나 치환성칼륨과 유효구산 함량이 약간 낮은 편이었다 (NIAST, 2006). 시험품종은 중만생종인 남평벼를 사용하였으며, 건조탈망종자를 프로클로라즈 유제와 플루디옥소닐 액상수화제를 이용하여 30°C에서 48시간 소독한 다음 파종하였다. 무경운 건답직파 재배구의 파종은 2014년 국립식량과학원에서 개발한 무경운 파종기를 이용하여 5월 7일에 조건 25 cm, 파종깊이 3 cm의 파종골을 만들고 법씨를 파종량 70 kg ha<sup>-1</sup>으로 줄뿌림하였다. 무경운 파종기는 트랙터 부착형 8조식으로 파종골 조성용 원형날과 파종장치로 구성되어 있으며, 파종깊이가 3 cm일 때 파종골의 최소 폭은 약 2.5 cm 내외로 토양교란을 최소화하면서 파종이 가능하게끔 고안되었다. 본 파종기로 토양수분함량 10% 조건에서 파종골 형성시 지표면 교란 면적은 전체 면적의 13% 수준으로 조사되었다. 경운 기계이앙 재배구는 5월 1일에 육묘상자에 파종하여 못자리에서 육묘한 후 2014년에는 5월 28일, 2015년에는 5월 31일에 승용이앙기를 이용하여 조건 30 cm, 주간 14 cm로 본답 이앙하였다. 무눈점파 재배구는 8조식 벼 무눈점파기를 이용하여 5월 16일 조건 28 cm, 주간 14 cm, 파종량 40 kg ha<sup>-1</sup>로 파종하였다. 시비처리는 경운 기계이앙 및 무눈점파 처리구의 경우 표준시비량에 따라 질소, 인산, 칼리를 각각 90 kg N ha<sup>-1</sup>, 45 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, 57 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> 사용하였으며, 무경운 건답직파 처리구는 보통논에서의 벼 건답직파 (건답골뿌림) 권장 시비량을 준용하여 질소를 110 kg N ha<sup>-1</sup> 사용하였고 인산과 칼리는 각각 45 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>와 57 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> 사용하였다

**Table 1. Chemical properties of paddy soil before experiment.**

	pH	OM	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ex. cations			Av. SiO <sub>2</sub>
				K	Ca	Mg	
	(1:5)	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>			mg kg <sup>-1</sup>
Experimental soil	6.3	35	98	0.19	7.8	1.6	118
Optimum range	5.5-6.5	25-30	80-120	0.25-0.30	5.0-6.0	1.5-2.0	157-180

(NICS, 2010; RDA, 2006; RDA, 2013). 질소비료의 분시방법은 표준재배법에 따라 경운이앙 재배구는 기비-분얼비-수비를 각각 50-20-30%, 무논점파 재배구는 기비-5엽기-수비를 각각 40-30-30%로 하였고, 무경운 직파구는 벼 건답직파 시비법에 준하여 3엽기-7엽기-수비를 각각 40-30-30%로 하였다 (NICS, 2010). 모든 재배구에서 인산은 전량 기비로 처리하였으며, 칼리는 기비-수비를 각각 70-30%로 하였다. 잡초방제는 무경운직파 재배구에서 파종후 13일경 비선택성 제초제 (glyphosate)와 토양처리제초제 (butachlor)를 각각 3,000 mL ha<sup>-1</sup> 와 2,000 mL ha<sup>-1</sup> 혼합처리하였으며, 관행 기계이앙과 무논점파 재배구는 농촌진흥청 표준재배법에 준하여 처리하였다 (RDA, 2006; RDA, 2013).

직파재배구인 무논점파와 무경운 건답직파 재배구의 입모수는 6월 18일에 조사하였고 재배양식에 따른 생육특성을 비교하기 위해 생육초기 (6월 하순), 최고분얼기 (7월 하순), 출수기 (8월 하순), 수확기 (10월 중순)에 각 재배구에서 벼의 초장, 분얼수, 엽색도, 생체량, 질소흡수량을 조사하였다. 엽색도 조사는 엽록소 측정기 (SPAD-502, Japan)를 이용하여 잎의 중앙 부분을 측정하였다. 벼의 생체량 조사방법은 지상부 생육이 평균적인 개체를 대상으로 경운이앙재배구와 무논점파 재배구에서는 4주씩 채취하고 무경운직파 재배구에서는 30 cm × 30 cm 면적 내의 개체를 채취하여 흙을 씻어낸 후 평량하였다. 질소 흡수량은 채취한 식물체 시료를 열풍건조기에서 70°C로 48시간 이상 건조하여 건중량을 측정한 다음 마쇄하여 원소분석기 (Vario Max CN, Germany)에 의한 건식연소법으로 질소함량을 측정하고, 여기에 건물중을 곱하여 환산하였다. 수량은 기계이앙재배구와 무논점파재배구는 100주를 수확하고 ha당 면적으로 환산하였으며, 무경운 직파 재배구에서는 2 m × 2 m 면적 내의 벼를 수확하여 조사하였다. 수량구성요소와 쌀의 품질분석은 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사분석기준에 준하였다 (RDA, 2012). 시험토양의 경도는 원추관입식 토양경도계 (Eijkelkamp Penetro-logger, Netherlands)를 이용하여 지표면에서 80 cm 깊이까지 측정하였으며, 토양 경도의 차이에 따른 벼 뿌리의 생육상태를 비교하기 위해 수확기에 15 cm 깊이로 벼 뿌리를 채취한 후 흙을 씻어내고 건조 및 평량하였다.

시험결과의 통계분석은 R 3.1.0 버전을 이용하여 5% 유의 수준에서 Duncan's multiple test를 수행하여 처리간의 유의성을 검토하였다.

## Results and Discussion

**벼 재배방법별 생육 특성** 직파시험구인 무논점파 재배구와 무경운 건답직파 재배구의 입모수는 유의적인 차이가 없었다 (Table 2). 무논점파와 건답직파 재배시 적정 입모수를 기존의 연구 결과에 준하여 각각 80~120개 m<sup>-2</sup>와 90~150개 m<sup>-2</sup>로 볼 때 두 재배구 모두 입모는 양호한 수준이었다 (Choi et al., 2012; NICS, 2010). 무경운 재배시에는 파종 후 담수시 표층 유기물의 분해에 의한 유기산 증가 및 용존산소량 저하로 입모율이 낮아진다고 알려져 있는데, 본 실험에서는 파종 후 출아까지 약 3주간 건답상태를 유지한 후 출아촉진을 위해 7일간 물걸러대기를 수행하였기 때문에 부숙장해가 크지 않았던 것으로 보였다 (Chae et al., 1998; Kwon et al., 2002). Park et al. (1996)과 Kwon et al. (2002)은 직파 논에 물을 얹게 대거나 걸러대기를 하면 수중 용존산소량을 늘릴 수 있어 적정 입모수 확보가 가능하다고 하였다. 기존의 무경운 담수직파재배의 입모수로 보고된 30~66개 m<sup>-2</sup> 또는 59개 m<sup>-2</sup>에 비해 무경운 건답직파의 입모수는 120% 이상 많아 본 재배법의 입모 안정성은 비교적 높은 수준으로 판단되었다 (Kim et al., 1997; Kwon et al., 2002).

재배방법별 벼의 초장, 분얼수, 엽색도, 질소흡수량의 경시적 변화는 Fig. 1과 같다. 초장은 생육초기와 최고분얼기까지는 재배방법간에 차이가 없었으나 출수기 무렵에는 무경운 건답직파 재배구의 생육이 우세하여 초장이 유의적으로 길었다. 모든 재배구에서 벼 수확기까지 도복은 발생하지 않았는데, 특히 기존의 무경운 담수산파 재배법은 도복 위험성이 큰 것으로 알려진 것에 반해 무경운 건답직파 재배구에서는 도복의 문제가 나타나지 않아 안정적인 재배 가능성을 시사하였다. 이것은 담수산파에서는 벼 뿌리의 발육이 대부분 표토에 제한되고 줄기 매몰깊이도 낮지만, 건답직파에서는 파종기에 의해 토중 3 cm 깊이에 벼뿌리가 심겨지므로 뿌리가 비교적 깊이 발육할 수 있었기 때문으로 판단된다 (Chung et al., 2000; Lee et al., 1994).

m<sup>2</sup>당 분얼수는 생육초기에는 무논점파 재배구와 무경운 건답직파구가 경운 기계이앙 재배에 비해 각각 118%와 46% 많았으나, 최고분얼기에는 무경운 직파구의 분얼수가 확연히 증가하여 경운이앙 재배구 대비 68% 많았던 반면 무논점파 재배구는 경운이앙 재배구와 차이가 없었다. 무경운 직파구의 분얼수는 수확기까지 타 재배구보다 많은 경향이였다. 엽색도 (SPAD 측정값)는 최고분얼기까지 경운이앙 재배구에

**Table 2. The number of seedling stand under different rice cultivation methods.**

Treatments	No. of seedlings per m <sup>2</sup>
Wet-hill-seeding on puddled paddy	107ns*
No tillage direct seeding on dry paddy	137ns

\*not significant (P > 0.05).

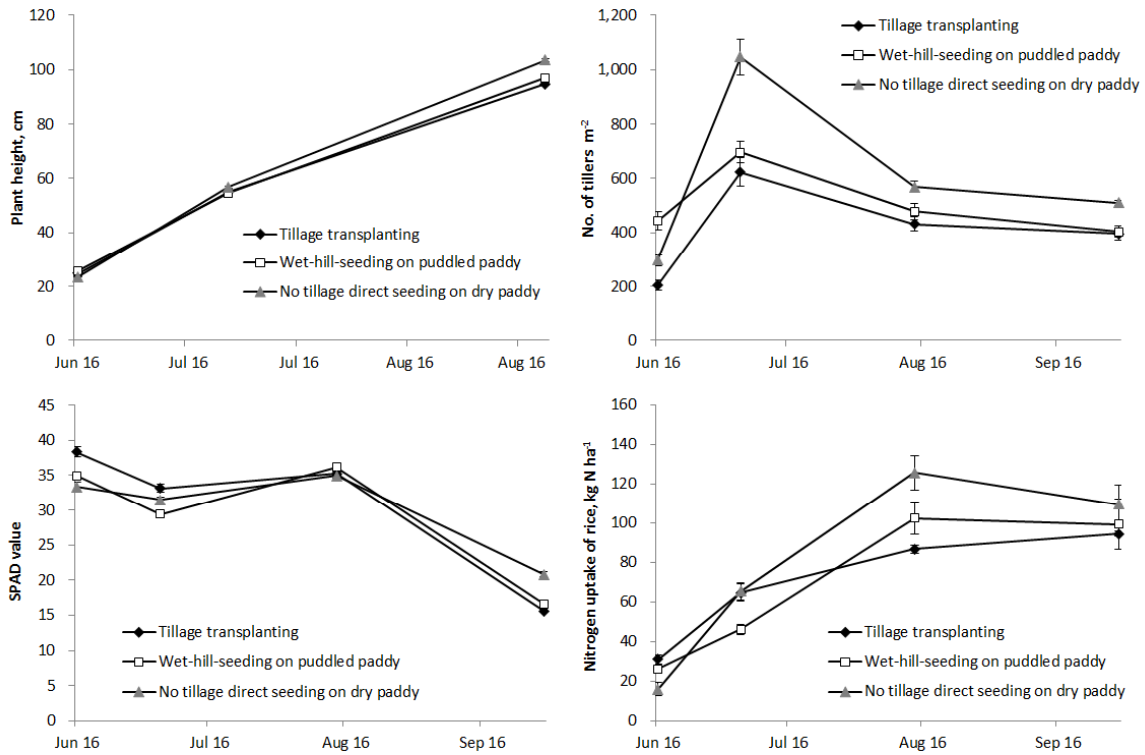


Fig. 1. Changes in plant height, number of tillers, SPAD values and N uptake of rice under different rice cultivation methods.

Table 3. Rice yields and yield components under different rice cultivation methods for two years.

Treatments	Heading date		No. of panicle per m <sup>2</sup>	No. of spikelets per panicle	Ripened grain ratio (%)	1000 grain weight of brown rice (g)	Milled rice yield (Mg ha <sup>-1</sup> )
	2014	2015					
Tillage transplanting	8.22.	8.21.	402b	88.7ns*	92.5a	23.6a	6.02ns
Wet-hill-seeding on puddled paddy	8.26.	8.23.	446ab	95.7ns	89.0b	23.0b	5.92ns
No tillage direct seeding on dry paddy	8.28.	8.27.	495a	93.0ns	85.0c	22.9b	5.93ns

\*not significant (P > 0.05).

†Values with the same letter in a column are not significantly different at 5% level by DMRT.

서 가장 높았으며, 출수기에는 재배구 간에 유의한 차이가 없었으나 수확기에는 무경운 직파구의 SPAD 값이 가장 높았다. 질소흡수량은 생육초기에는 무경운 직파구에서 가장 낮았으나 생육 후기로 갈수록 증가하여 출수기에는 재배방법 중 가장 높았으며, 수확기에도 통계적 유의성은 없었지만 평균치는 높은 경향을 유지하였다. Lee et al. (1991)은 무경운 건답직파시 벼의 수확기 질소흡수량은 약 80~100 kg N ha<sup>-1</sup> 정도이며 질소시용량이 많을수록 흡수량이 증가한다고 하였는데, 본 실험에서도 무경운 직파구의 질소시용량이 타 재배구보다 많았기 때문에 상대적인 질소흡수량에 차이가 생긴 것으로 보였다. 또 무경운 직파구의 초장과 엽색도가 생육 후기에 타 재배구보다 높은 것도 같은 원인에 기인하는 것으로 사료된다. 기존 연구에서 경운 건답직파 재배시의 질소시비량은 파종방법 및 토양특성에 따라 110~180 kg N ha<sup>-1</sup> 수준

으로 제시되고 있는데, 무경운 건답직파 벼의 적정 질소시비량은 본 시험의 결과로 볼 때 110 kg N ha<sup>-1</sup> 수준으로도 생육 및 수량 확보에 충분한 것으로 나타났다 (NICS, 2010).

**재배방법별 벼 수량 및 품질 특성** 재배방법에 따른 출수기, 수량구성요소 및 쌀수량은 Table 3과 같았다. 출수기는 경운이양 재배구에서 가장 빨랐고 무논점파와 무경운 건답직파는 각각 경운이양 대비 평균 3일과 6일 늦어졌다. Shon et al. (2012)은 무논점파 재배시 호품벼의 출수기가 이양재배보다 평균 3일 늦어졌다고 하였는데 본 시험에서도 이와 비슷한 경향을 보였다. 면적당 이삭수는 무경운 직파에서 가장 많았고 경운이양이 가장 적었으며, 등숙율과 현미천립중은 경운이양에서 가장 높고 무경운 직파에서 가장 낮았다. 무논점파 재배구의 이삭수와 등숙율은 경운이양과 무경운

**Table 4. Milled rice quality under different rice cultivation methods for two years.**

Treatments	Perfect grain	Imperfect grain			Protein	Amylose
		Broken	Damaged	Etc		
----- % -----						
Tillage transplanting	95.5ns*	2.6a	0.8ns	1.4b	5.9ns	19.3ns
Wet-hill-seeding on puddled paddy	97.4ns	1.3b	0.2ns	1.3b	5.9ns	20.0ns
No tillage direct seeding on dry paddy	94.5ns	1.9ab	0.5ns	3.5a	6.0ns	19.8ns

\*not significant ( $P > 0.05$ ).

†Values with the same letter in a column are not significantly different at 5% level by DMRT.

직파의 중간 수준이었다. 백미수량은 재배방법간에 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 직파재배시의 수량 저하 요인은 낮은 입모수와 잡초 발생인 것으로 알려져 있는데, 일반적으로 직파재배의 수량이 관행 경운이양보다 적은 경향이지만 일부 보고에서는 잡초방제 등 재배관리가 잘 수행되었을 경우 관행과 동등하거나 더 많은 수량을 낸다고 하였다 (Farooq et al., 2011; Singh et al., 2005). 또 Sakar et al. (2003)은 직파재배시 이삭수가 수량에 큰 영향을 끼친다고 하였는데, 본 실험에서도 이와 유사한 경향을 나타내었다. 따라서 무경운 건답직파 재배에서 입모수가 충분히 확보되면 이삭수 증가로 이어져 안정적인 수량 확보가 가능할 것으로 생각되었다.

재배방법별 쌀 품질특성은 Table 4와 같다. 완전립률은 처리간 차이가 없었으며 94.5% 이상으로 높은 수준이었다. 쌀라기는 경운이양 재배구에서 높았고 무경운 직파구에서 낮은 경향을 보였으며 기타 불완전미 비율은 무경운 직파구가 높은 경향이었으나 불완전미가 차지하는 비율은 전체 쌀의 5% 내외로 크지 않았다. 단백질과 아밀로스 함량은 재배방법간에 차이가 관찰되지 않았다. Hong et al. (2003)은 경운여부에 따른 쌀의 품위는 차이가 없었다고 하였고, Shon et al. (2012)은 무논점파재배시 쌀의 완전립률은 기계이양과 차이가 없거나 높다고 하여 본 시험의 결과와 유사한 경향을 보였다.

**재배방법별 토양 경도 변화 및 뿌리 생육** 시험 전과 1년차 및 2년차 재배시험 중 토양의 원추관입저항 (경도)을 측정하였으며, 경도가 벼 뿌리 생육에 영향을 미치는지 알아보기 위해 수확기에 뿌리 건중량을 측정하였다. 재배양식별 토양의 관입저항은 Fig. 2와 같다. 이양-파종 전 (2014년 4월) 건답상태에서 토양 경도는 처리구간에 뚜렷한 차이가 없었으나, 답수 후 (2014년 7월)에는 토심 0~5 cm에서 무경운 재배구의 경도가 기계이양과 무논점파 재배구에 비해 유의적으로 높았던 반면 5~20 cm 깊이에서는 경운이양 재배구의 경도가 가장 높은 수준이었다. 2년차 시험 (2015년 6월)에서 재배방법별로 보다 명확한 차이가 나타났는데, 0~10 cm 깊이에서는 무경운 재배구의 경도가 타 재배구에 비해 높았으며, 경운이양재배구와 무논점파 재배구는 각각 토심 10 cm과 20 cm에서 경도가 급격히 증가한 반면, 무경운 재배구는 10

**Table 5. Dry weight of root at harvesting stage under different rice cultivation methods.**

Treatments	Dry weight of root
g m <sup>-2</sup>	
Tillage transplanting	95.4c
Wet-hill-seeding on puddled paddy	157.8a
No tillage direct seeding on dry paddy	126.3b

†Values with the same letter in a column are not significantly different at 5% level by DMRT.

cm 이하에서는 경도가 완만하게 증가하였다. 토심 20 cm 이하의 심토층에서는 재배방법간의 차이가 관찰되지 않았다. Hong et al. (2003)은 매년 경운한 논은 표토는 부드러우나 토심 5 cm부터 20 cm (경반층)까지 급격히 단단해지는 반면 무경운 논은 표토가 단단하고 경반층까지는 경운답보다 오히려 부드럽다고 하였는데, 본 시험에서도 비슷한 결과를 보였다. Hong et al. (2003)은 또 장기간 무경운상태로 관리하면 토층이 경운한 논에 비해 점점 부드러워진다고 하였는데, 이와 유사하게 1년차에 비해 2년차에 표토층에서 무경운 재배구의 경도가 낮아지는 경향을 본 실험에서 확인할 수 있었다.

2년차 수확기에 조사한 벼 뿌리의 단위면적당 건중량은 무논점파 > 무경운 건답직파 > 경운이양 재배구 순으로 많았다 (Table 5). 이 결과는 무경운직파구에서 토심 5 cm이하의 경도가 상대적으로 낮았던 반면, 경운이양구는 10 cm 깊이에서 경반층이 강하게 형성되어 뿌리 발달에 나쁜 영향을 준 것으로 판단되었다. 무논점파구는 표토층에서 경도가 낮았다가 토심 20 cm에서 크게 증가하였는데, 일반적으로 벼 뿌리는 90% 이상이 토심 15 cm 내에 분포하고 있어 경반층에 의한 영향이 적었다고 생각된다 (Son and Lee, 2011). 그러나 무논점파 재배구의 경반층이 경운이양구에 비해 깊게 나타난 것이 해당 재배양식의 특징적 현상인지에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다. Kwon et al. (2002)은 벼를 무경운 이양 재배시에는 생육초기 답수조건에서 유기산의 영향과 표토층의 경도 증가로 뿌리 발달이 상대적으로 불량하다고 하였으나, 무경운과 경운재배간에 뿌리량의 차이가 없거나 무경운에서 더 많다는 상반되는 보고도 있다 (Park et al., 2002;

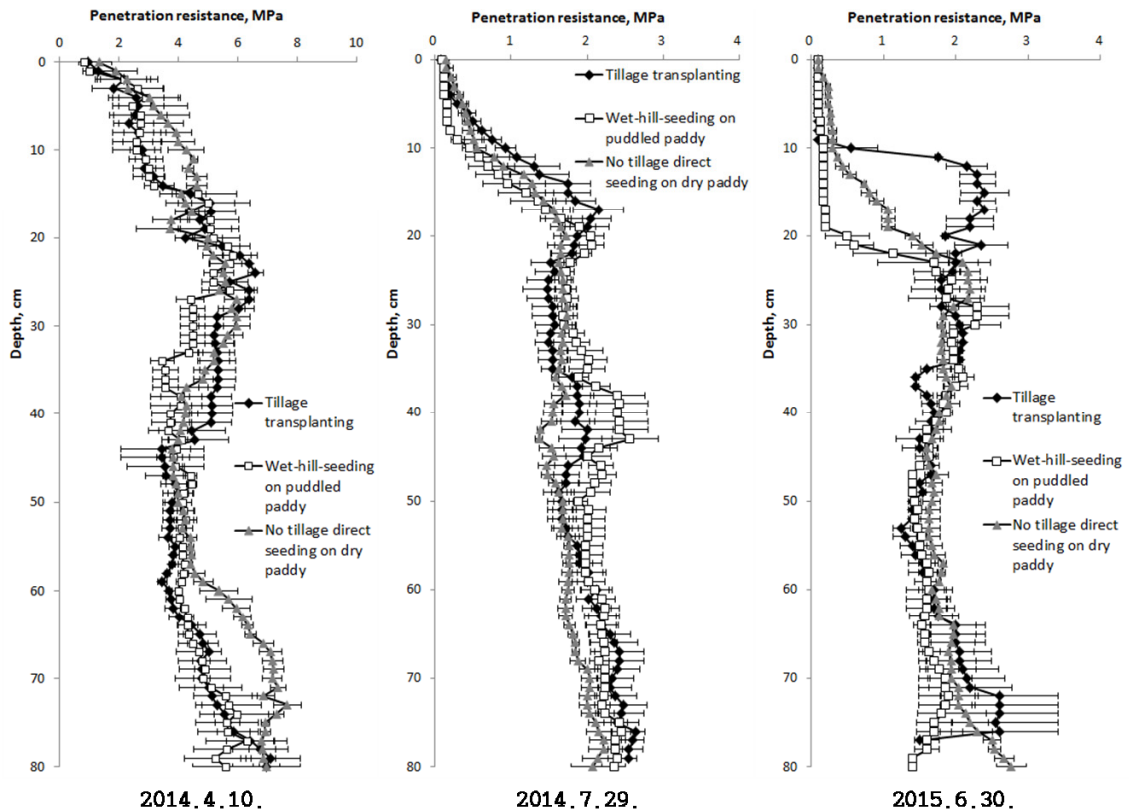


Fig. 2. Changes in soil hardness of paddy under different rice cultivation methods.

Son and Lee, 2011; Wilhelm, 1998). 더욱이 무경운 건답직파와 무논점파 재배시의 뿌리량에 대해서는 기존에 조사된 바가 없어 타 연구와 직접 비교는 어려우며, 추후의 연구를 통해 경향성을 구명할 필요가 있다고 생각된다.

### Conclusions

지속가능한 벼농사 발전을 위해 벼를 무경운 건답직파했을 때의 벼 생육특성과 토양의 경도변화를 경운 기계이앙 및 무논점파 재배법과 함께 규명하고자 2014년부터 2015년까지 2년동안 국립식량과학원 중부작물부에서 시험을 수행한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 무경운 건답직파의 입모수는 무논점파와 유의한 차이가 없었으며, m<sup>2</sup>당 137개로 건답직파재배시의 적정 범위안에 있었다.
2. 무경운 직파구의 초장은 생육 후기로 갈수록 다른 재배양식보다 길어졌으며, 분얼수는 최고분얼기에 타 재배구 대비 68% 많았고 생육 후기까지 높게 유지되었다. 무경운 직파구의 SPAD 측정값과 질소흡수량도 생육 후기 다른 재배구에 비해 높은 경향을 보였다.
3. 무경운 직파구의 1~2년차 수량은 경운이앙 및 무논점파 재배와 차이가 없었다. 무경운 재배시 단위면적당

이삭수가 상대적으로 많았으나 등숙율은 다소떨어지는 경향을 보였다. 완전미율, 단백질, 아밀로스 함량 등의 품질특성에서는 무경운 직파구가 다른 재배법과 유의한 차이를 보이지 않았다.

4. 토양 경도는 무경운 직파재배시 0~10 cm 깊이에서 다른 처리구보다 높았으나 10~20 cm 깊이에서는 경운이앙 재배구의 경도가 가장 높았다. 수확기 벼 뿌리의 단위면적당 건조량은 무논점파 > 무경운 건답직파 > 경운이앙 순으로 많았다.

### References

Chae, J.C., D.K. Jun, and D.W. Kim. 1998. Effect of rice-straw and dead water-foxtail mulch on growth of rice and paddy weeds in no-tillage rice cultivation. *Kor. J. Weed Sci.* 18: 191-196.

Choi, M.K., B.I. Ku, S.G. Kang, W.G. Sang, N.H. Back, Y.D. Kim, H.K. Park, W.Y. Choi, T.S. Park, and B.K. Kim. 2012. Study on the optimal seeding date of rice direct hill-seeding on puddled paddy in Honam plain area. *Korean J. Intl. Agri.* 24(3):325-330.

Choi, M.K., B.I. Ku, S.G. Kang, W.G. Sang, N.H. Back, Y.D. Kim, H.K. Park, W.Y. Choi, T.S. Park, and B.K. Kim. 2013. Water management method for enhancing the seedling establishment under direct seeding on flooded paddy surface.

- Korean J. Intl. Agri. 25(3):265-270.
- Chung, N.J., Y.H. Yoon, C.K. Kim, and Y.S. Kang. 2000. Weedy rice control by no-tillage direct seeding on flooded paddy field. Korean J. Crop Sci. 45(3):195-198.
- Chung, S.O. and J.Y. Kim. 2000. Effect of no-till direct seeding on irrigation water and cost reduction – A field case study. Agric. Res. Bull. Kyungpook Natl. Univ. 18:33-42.
- Farooq, M., K.H.M. Siddique, H. Rehman, T. Aziz, D.J. Lee, and A. Wahid. 2011. Rice direct seeding: Experiences, challenges and opportunities. Soil Till. Res. 111:87-98.
- Hong, K.P., Y.G. Kim, W.K. Joung, G.M. Shon, G.W. Song, W.J. Choi, and Z.R. Choe. 2003. Changes in physicochemical properties of soil, yield, and milling quality of rice grown under the long-term no-till rice system. Korean J. Crop Sci. 48(3):196-199.
- Kim, D.S., T.S. Park, and M.H. Lee. 1997. Effect of tillage and culture practices on the growth of rice at Poseung silty clay loam in reclaimed tidal area. RDA. J. Agro-Envir. Sci. 39(2): 19-24.
- Kim, S.Y., B.C. Moon, S.T. Park, S.O. Shin, S.J. Yang, and S.C. Kim. 2002. Control of water foxtail (*Aleopecurus aequalis* var. *amurensis* Ohwi), and weedy rice (*Oryza sativa* L.) by paraquat and glyphosate in no-tillage dry seeded rice. Korean J. Weed Sci. 22(4):343-349.
- Kwon, O.D., Y.I. Kuk, and H.R. Shin. 2002. Ecological variation of rice and weeds in direct seeding on flooded paddy surface of no-tillage. Kor. J. Weed Sci. 22(2):100-107.
- Lee, H.J., S.H. Kim, and S.S. Lee. 1994. Productivity and profitability of direct seeding culture of rice in mid and southern regions. Korean J. Crop Sci. 39(5):512-518.
- Lee, J.T., J.S. Ryu, G.J. Lee, H.J. Jung, J.S. Kim, and S.H. Park. 2014. Evaluation of soil loss with surface covering methods using strip tillage seeding device. Korean J. Soil Sci. Fert. 47(6):425-431.
- Lee, S.S., S.B. Hong, and J.H. Back. 1991. Nitrogen level in tillage and no-tillage systems in direct-seeded rice. Korean J. Crop Sci. 36(2):160-165.
- Lee, S.S., S.B. Hong, and J.H. Back. 1992. Nitrogen split application of direct-seeded rice in tillage and no-tillage systems. Korean J. Crop Sci. 37(5):405-412.
- NIAST. 2006. Fertilizer recommendation for crops. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- NICS. 2010. Core technology for direct-seeded rice cultivation. National Institute of Crop Science, RDA, Milyang, Korea.
- NYAES. 1999. Practical technology for direct-seeded rice cultivation. National Yeongnam Agricultural Experiment Station, RDA, Milyang, Korea.
- 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.
- Park, H.K., S.S. Kim, W.Y. Choi, K.S. Lee, and J.K. Lee. 2002. Effect of continuous cultivation years on soil properties, weed occurrence, and rice yield in no-tillage machine transplanting and direct dry-seeding culture of rice. Korean J. Crop Sci. 47(3):167-173.
- RDA. 2006. Standard farming handbook: Technology for improving rice quality. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- RDA. 2012. Standard analysis method of agricultural science & technology. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- RDA. 2013. Basic textbook for agricultural technology dissemination: Direct seeded cultivation. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- Sarkar, R.K., D. Sanjukta, and S. Das. 2003. Yield of rainfed lowland rice with medium water depth under anaerobic direct seeding and transplanting. Trop. Sci. 43:192-198.
- 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.
- Shon, J.Y., C.K. Lee, J.H. Kim, Y.H. Yoon, W.H. Yang, K.J. Choi, M.G. Choi, H.K. Park, J.C. Ko, Y.G. Kim, C.K. Kim, and W.H. Yang. 2012. Comparisons of growth, heading and grain filling characteristics between wet-hill-seeding and transplanting in rice. Korean J. Crop Sci. 57(2):151-159.
- Singh, Y., G. Singh, D. Johnson, and M. Mortimer. 2005. Changing from transplanted rice to direct seeding in the rice-wheat cropping system in India. p.198-201. In: Toriyama, K., K.L. Heong, and B. Hardy. (ed.). Rice is life: scientific perspectives for the 21st century, Tsukuba, Japan: Proceedings of the world rice research conference.
- Son, D. and Y.H. Lee. 2011. Effects of no-tillage rice cover crop cropping systems on rice root growth. Korean J. Soil Sci. Fert. 44(3):375-379.
- Wilhelm, W.W. 1998. Dry-matter partitioning and leaf area of winter wheat grown in a long-term fallow tillage comparisons in the US Central Great Plains. Soil Till. Res. 49:40-56.