

벼 직파재배기법 및 천수간단 관개기법

Rice Direct Seeding and Shallow Intermittent Irrigation Techniques

정 상 옥,* 안 태 홍**
Chung, Sang-Ok, Ahn, Tae-Hong

1. 머리말

농촌 노동력의 감소와 노령화로 인하여 여러 가지 영농작업의 생력화와 기계화가 절실히 요구되며, 수자원 부족으로 인하여 논 관개용수의 효율적인 관리가 필요하다. 이앙재배에 비하여 직파재배 벼는 묘판의 준비와 이앙작업을 생략할 수 있으므로 노동력을 절감시킬 수 있다. 나아가 무경운 직파재배는 더 많은 작업과정을 생략할 수 있으므로 노동력과 생산비용을 더 절감할 수 있으며 환경보전 측면에서도 장점이 많을 것으로 생각된다.

우리 나라의 직파재배 논 면적은 1994년을 기점으로 크게 증가하였으며, 1997년에는 논 면적의 10.4%에 달하였으며(농림부, 1997) 앞으로도 점차 증가할 것으로 예상된다. 관개지역이 대규모이고 평야부가 많은 남부지방에서 기후조건이 유리하므로 직파재배가 많은 것으로 조사되었다(농림부, 1997).

논 관개방법은 지역별, 기후별, 경지규모별, 물관리 기술수준별 등 여러 가지 요인에 따라 다르다. 논에서의 물 관리는 작물생육과 물 이용효율에 매우 큰 영향을 미치며, 그중에서 논 담수심 관리는 침투손실 및 유효수량과 생육 및 생산량에도 영향을 미친다. 우리 나라에서는 전통적으로 중간 낙수기를 제외한 대부분의

생육기간 동안에 8~10cm로 심수관개를 해오고 있다. 또한 농민들의 물에 대한 경제적 개념이 희박하여 무턱대고 많은 물을 관개하는 것이 일반적이다.

논에서의 담수심 관리를 효율적으로 하면 용수절약에 크게 기여할 수 있을 것으로 생각된다. 즉, 연속적으로 심수관개 하는 것에 비해서 천수 간단 관개방식을 채용하면 용수절약이 가능할 것이다.

본 고에서는 여러 가지 벼 직파 및 무경운 영농기술을 소개하고 이들의 이앙재배에 대한 비용절감 효과를 분석하였으며, 천수 간단관개가 용수절약에 미치는 영향을 조사하기 위하여 국내외에서 수행된 관련 연구결과를 소개하고 우리나라의 영농현장에서의 사례를 소개하였다.

2. 직파재배 방식별 영농기법

가. 여러 가지 직파재배 기법

직파재배에 대한 연구는 농림부(1997)에서 직파재배시의 필요수량변화에 대한 연구를 수행하여 바람직한 물관리기준을 소개하였다. 정(1997)은 작물계수 산정방법별로 담수직파 논 벼의 작물계수를 산정하여 비교하였다.

* 경북대학교 농과대학
** 쌀보리연구회

직파 및 무경운 재배 조사는 전북 김제시 부량면 대평리 일대 2.1ha의 논 지대에서 수행되었으며, 제 2저자가 1991년부터 2000년까지 무논골뿌림과 무경운 무논골뿌림을 해오고 있다. 본 조사에서 이용된 직파기는 제 2저자가 개발한 것으로 1991년에는 이앙기 부착식이었으나, 계속 개량 보완하여 1999년부터는 경운기 부착식으로 부속을 교체하지 않고도 건담골뿌림, 무논골뿌림 및 무경운 골뿌림 파종을 할 수 있다. 또한 파종과 시비를 동시에 할 수 있는 직파기도 개발되었다.

본 조사지구에서 직파재배시의 물 관리는 물 고랑을 만들어 논바닥을 때때로 건조시켜 주었으며, 물고랑은 논의 장변방향으로 간격은 논바닥이 평평하면 10m, 평평하지 않으면 5m로 하고 깊이는 10cm로 하였다. 직파 후 가지 치기가 지난 후부터 수확 2주 전까지 논바닥에 실금이 갈 때까지 건조시킨 후 논 담수심이 3~4cm가 되게 관개하고 다시 건조시키는 간단관개를 실시하였다.

직파재배 방식은 일반적으로 건담직파와 무논골뿌림으로 나누어진다. 본 고에서는 이에 추가하여 무경운 무논골뿌림과 이모작 건담직파도 소개하고자 한다.

파종과 동시에 측조시비를 통하여 비료를 뿌리고 흙 속에 묻히도록 함으로써 약 30%의 비료 절감효과는 물론 배수되는 물의 오염을 방지할 수 있다. 측조시비는 법씨를 얇은 골을 형성하면서 줄 뿌림하면서 약 4cm 간격으로 비료도 골 뿌림 형태로 살포하여 흙을 얇게

덮어서 유출을 방지하여 효율을 높이는 방식이다. <그림-1>은 측조시비 모양을 보여주고 있으며, 여러 가지 직파재배 기법에 대하여 설명하면 다음과 같다.

1) 건담직파

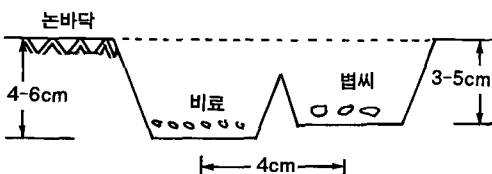
건담직파시 영농관리는 <그림-2(a)>와 같다. 파종 4일 전에 1차로 논을 15~20cm 깊이로 고르게 간다. 그 다음 5~10m 간격으로 10cm 깊이의 물 고랑을 설치하여 관개와 배수를 신속히 할 수 있게 한다. 물 고랑은 트랙터에 부착한 배토기로 쉽게 설치할 수 있으며, 파종 전일에 2차 로터리를 친다.

파종은 3~5cm 깊이에 점파로 줄뿌림한다. 파종량은 ha당 50kg 정도가 적당하며, 파종 후 출아에 충분하도록 물고랑에 물을 공급하고 표면은 비담수 상태로 한다. 파종 후 10일 정도까지는 논에 물을 대지 않고 유지하면 출아율이 90% 이상이 되며 벼가 자라서 키가 2~5cm로 되는 10일 경에 물을 공급하고 12일 경에 초중기 제초제를 살포한다. 분얼수가 확보되면 파종 후 40~50일 경에 중간 물떼기를 하며, 50~60일 경에 중기제초제를 살포한다. 그 이후에는 생육상황과 환경조건에 따라 필요시에 방제 등을 해준다.

2) 무논골뿌림

무논골뿌림 직파는 파종전 제초제 처리와 로터리 직후 파종의 두 가지가 있다. 파종전 제초제 처리를 하는 무논골뿌림 때의 영농관리는 <그림-2(b)>와 같다. 파종 13일 전에 논을 15~20cm 깊이로 고르게 간 다음 물 고랑을 개설하고 논 전면에 물을 공급한다.

파종 10내지 13일 전에 제초제(론스타 또는 사단)를 살포하고 10여일간 담수상태로 유지하면 흙이 고르게 굳어져서 파종하기에 좋게 된다. 파종 전날 물을 완전히 빼고, 파종은 ha당

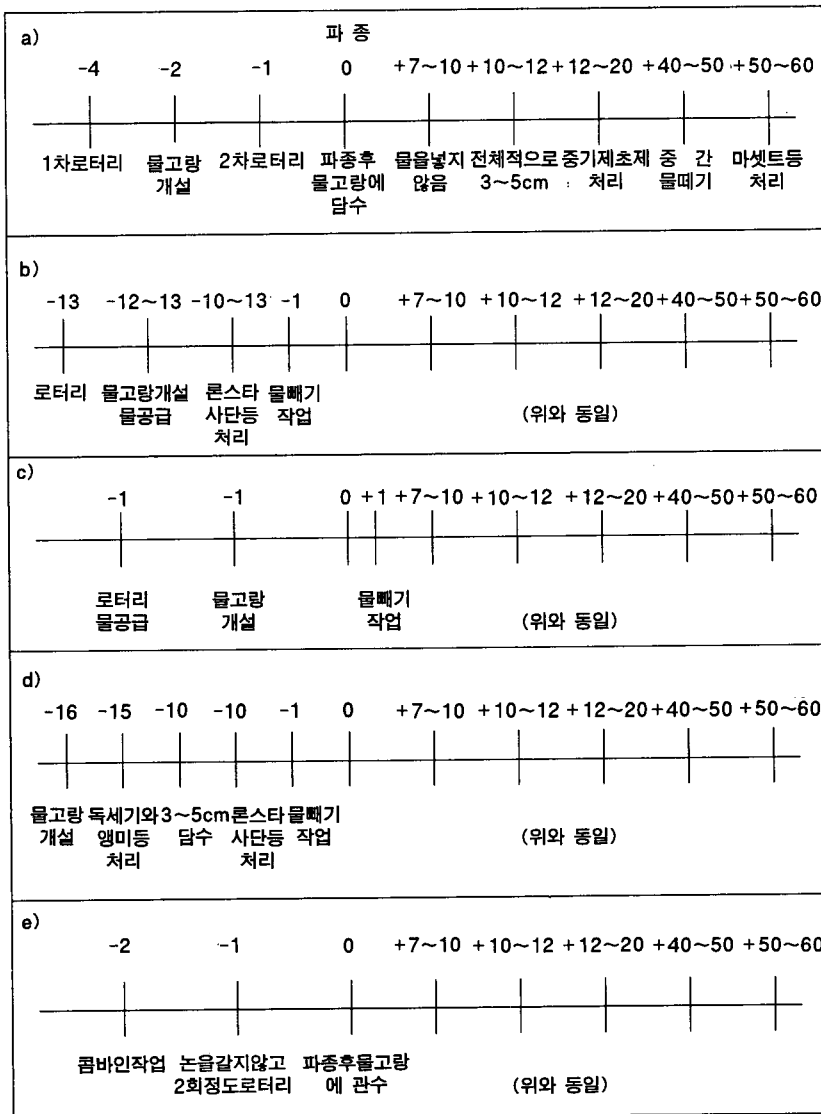


<그림-1> 직파와 동시에 측조시비한 모양

55kg이 적당하다. 파종은 3~5cm 깊이의 골에
 볍씨가 위치하게 하므로 제초제의 영향을 받
 지 않고 입묘가 양호하게 된다. 파종 후 10여
 일간 물을 대지 않고 그대로 유지하면 출아율
 이 85% 이상 되며, 그 이후의 논 관리는 건답
 직파에서와 같다.

파종 전 제초제 처리를 하지 않고 로터리
 친 후 바로 파종하는 경우의 영농관리는 <그

림-2(c)>와 같다. 파종 전날 15~20cm 깊이로
 고르게 갈고 물 고랑을 5~10m 간격으로 개설
 하고 물을 공급한다. 파종은 기계이앙시와 같
 이 물이 약간 있는 상태에서 하며 파종량은
 ha당 60kg 정도가 적당하다. 파종 1일 후에
 물을 완전히 빼면 로터리 친 흙탕물이 볍씨
 위에 가라앉게 되어 새의 피해를 방지할 수
 있다. 파종 후 10여일간 물을 대지 않고 그대



(그림-2) 여러 가지 직파재배시의 논관리 : (a) 건답직파, (b) 무논골뿌림(파종전 제초제살포), (c) 무논골뿌림(로터리 직후 파종), (d) 무경운 골뿌림, (e) 보리 이모작 건답직파

로 유지하면 출아율이 80% 이상 되며, 그 이후의 논 관리는 건답직파의 경우와 같다.

3) 무경운 무논골뿌림

토양보전과 노동력 절감을 위하여 1993년부터 무경운 직파재배시험을 실시하였다. 이 때의 논 관리는 <그림-2(d)>와 같으며, 파종 16일 전에 트랙터에 부착한 배토기로 5~10m 간격

으로 물 고랑을 개설한다. 파종 15일 전에 독세기와 앵미 등에 비선택성 제초제를 살포하고, 파종 10일 전에 3~5cm 깊이로 담수하여 다시 제초제를 살포하고 파종 전날 물을 빼면 논흙이 깊이 3~6cm 정도가 물러져서 골 형성이 잘 된다.

파종은 3~5cm 깊이의 골에 하게 되므로 제초제의 영향을 받지 않으며, 파종은 ha당

<표 - 1> 직파재배시 비용절감

(단위 : 원/ha)

순 위	작 업 명	기 계 이 앙 재 배 비 용		직파재배 비용	절 감 액
		내 역	금 액		
1	흙운반	경운기4대×15,000원	60,000	-	60,000
2	쇄토 및 운반	남자0.5명×40,000원	20,000	-	20,000
		여자0.5명×30,000원	15,000		
3	상자 흙담기	여자1명×30,000원	30,000	-	30,000
4	소독약	스포탁4병×550원	2,200	2,200	-
		리도밀1병×500원	500	500	-
		다찌기렌4병×1,550원	6,200	6,200	-
5	침종	여자0.5명×30,000원	15,000	15,000	-
6	못자리 툇 쌀기	남자0.5명×40,000원	20,000	-	20,000
7	묘판만들기	남자0.5명×40,000원	20,000	-	20,000
8	대쪽	(270개×60원)÷4년	4,050	-	4,050
9	비닐	100m	6,000	-	6,000
10	파종	남자1명×40,000원	40,000	-	40,000
		여자2명×30,000원	60,000		
11	묘판설치	경운기2대×15,000원	30,000	-	30,000
		남자1명×40,000원	40,000		
		여자2명×30,000원	60,000		
12	통풍 및 물관리	남자1명×40,000원	40,000	-	40,000
		여자2명×30,000원	60,000		
13	묘판농약	인건비 포함	10,000	-	10,000
14	묘판상자따기	남자0.5명×40,000원	20,000	-	20,000
15	묘판운반	남자1명×40,000원	40,000	-	40,000
		여자1명×30,000원	30,000		
16	이앙작업보조	남자0.5명×40,000원	20,000	-	20,000
		여자0.5명×30,000원	15,000		
계			663,950	23,900	640,050

55kg이 적정하다. 파종 후 10여일간 물을 대지 않으면 출아율이 90%이상 되며, 파종 이후의 논 관리는 직파재배에서와 같다.

4) 이모작 건답직파

보리 수확 후 건답직파하는 방법이며 논 관리는 <그림-2(e)>와 같다. 최(1998)는 보리 대신 자운영을 윤작하였다. 보리 수확할 때 콤바인 부착장비로 보리짚을 5cm 정도 길이로 잘라 논에 고르게 퍼 주며, 파종 전일 건답상태에서 10cm 정도 깊이로 2회 로타리를 친다. 배토기가 부착된 경운기 직파기로 파종하면

동시에 물 고랑도 설치된다. 로타리 친 후 바로 파종을 하며 종자량은 ha당 65kg내지 75kg이 적당하다. 파종이 끝나면 물 고랑에 물을 넣어주어 논 전체에 수분을 공급하여 출아를 좋게 한다. 이후는 건답직파에서와 같으며, 이모작 무논골뿌림방식도 가능하다.

일본에서는 논 무경운 직파재배는 1966년에 오카야마 지방에서 시작하였으나(Mizutani, et al., 1999), 우리나라에서 벼 무경운 직파에 대한 실패는 거의 없다. 최근에 홍(1994)이 논 무경운 체계에서 벼 생력재배에 관한 연구를 하였으며, 최(1998)는 무경운 직파재배에

<표 - 2> 무경운 직파재배시 비용절감

(단위 : 원/ha)

순위	작업명	기계이양재배비용		무경운 직파재배비용	절감액
		내역	금액		
1	퇴비살포	남자1명×40,000원	40,000	40,000	-
2	종자	1,250원/kg	93,750(75kg)	78,120(62.5kg)	15,630
3	모대비	<표 - 1>	663,950	23,900	640,050
4	경운, 로타리	150,000원/1,200평	375,000	-	375,000
5	정지작업	남자1명×40,000원	40,000	-	40,000
6	이앙/직파	1,200평당 60,000원	150,000	150,000	-
7	보식	여자2.5명×30,000원	75,000	75,000	-
8	비료		135,000	135,000	-
9	비료살포	37,500/회	112,500(3회)	37,500(1회)	75,000
10	농약		300,000	300,000	-
11	농약살포	37,500/회	187,500(5회)	112,500(3회)	75,000
12	물고랑개설	남자1명×40,000원	40,000	40,000	-
13	제초작업	여자2.5명×30,000원	75,000	75,000	-
14	물관리 기타	남자5명×40,000원	200,000	200,000	-
15	마대	55장×180원	9,900	9,900	-
16	콤바인작업	150,000원/1,200평	375,000	375,000	-
17	콤바인보조	남자1명×40,000원	40,000	40,000	-
18	운반	250포대×400원	100,000	100,000	-
19	건조	137.5가마×1,500원	206,250	206,250	-
20	건조보조	남자1명×40,000원	40,000	40,000	-
	계		3,258,850	2,038,170	1,220,680

의한 생산비 절감 및 고품질 쌀 생산 체계개발 연구를 하고 무경운 직파시 경반층을 통과하는 벼뿌리의 발육이 활발한 것으로 보고하였다. 홍 등(1997)과 Cho, et al.(1999)은 벼-자운영 연속 무경운 직파재배에서 자운영 이용방법 차이가 토양 및 벼 생육에 미치는 영향과 질소이동과 건물 집적에 대하여 연구하였다. 무경운 직파시에는 씨레질 할 때 발생하는 경반의 다짐이 없으므로 침투량이 증가할 것으로 예상되나 이에 대한 관측은 하지 못하였다.

그러나 무경운 직파 재배를 실용화 하기 위하여는 앞으로 더 많은 연구가 수행되어야 할 것이다.

나. 비용절감 효과

직파재배나 무경운 직파재배는 작업량이 줄어드는 만큼 영농비용의 절감을 얻을 수 있었다. 실험지구에서 여러 가지 영농 작업별 소요 인력과 2000년의 실제 노임과 물가를 사용하여 분석한 결과 직파로 인한 육묘과정의 생략에 따른 경비절감은 <표-1>에서 보는 바와 같이 ha당 640,000원 정도이었고, 무경운 직파의 경우에는 육묘과정은 물론 경운과 시비작업량도 감소하게 되어 <표-2>에서와 같이 ha당 1,220,000원 정도의 경비절감을 얻을 수 있었다. 물론 이들은 순수한 영농작업에 관한 것이며 물 관리비용이나 생산물의 가격 등은 고려하지 않았다.

3. 천수간단 관개기법

지금까지 국내외에서 수행된 논 담수심 관리에 대한 연구를 보면 다음과 같다. 이(1968)는 절수의 시기 및 방법의 차이가 수도생육과 수량에 미치는 영향에 대하여 연구하였고, 농

촌진홍청(1993)은 논 물관리 체계의 자동화에 대한 연구를 수행하였다.

최 등(1997)은 벼 휴립건담직파재배에서 합리적인 절수관개방법에 대하여 연구하였고, 강(2001)은 벼농사에서 절수재배기술에 대하여 발표하였다.

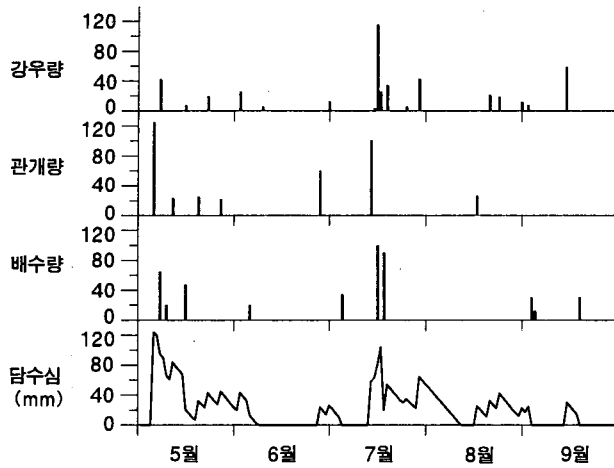
외국의 경우를 보면, 일본에서는 Hatta(1967)와 Tabbal 등(1992)은 논 담수심을 매우 낮게 유지하였을 때와 전통적인 물관리의 경우에 수확량과 관개수량을 비교하였으며, 중국에서는 Zu(2000)가 천수 간단관개가 물 절약에 미치는 효과에 대하여 연구하였다. Muirhead 등(1989)과 Heenan and Thompson(1984)은 호주에서 벼논의 물관리에 대한 연구를 하였다.

이러한 지금까지의 연구결과를 보면 일반적으로 벼는 심수관개 보다는 천수 간단관개 가 더 좋은 것으로 알려져 있다.

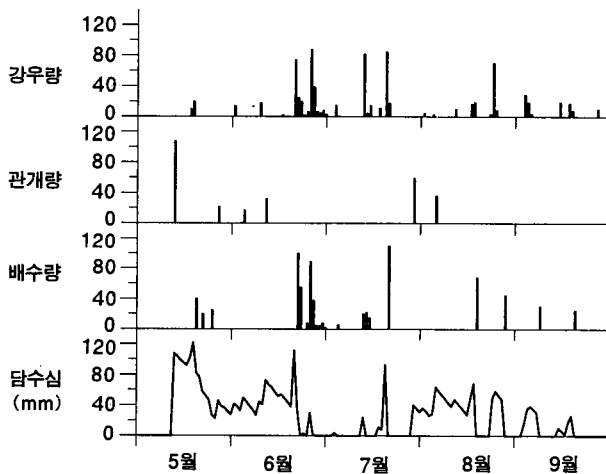
본 고에서 천수 간단관개 재배조사는 김제시 부량면 대평리의 40a(40×100m) 필지에서 수행되었다. 본 지구는 경지정리가 되었으며 용배수로 시설도 잘 정비되어 있을뿐 아니라, 본 지구의 관개용수는 섬진 다목적댐으로부터 김제 간선에 의해 공급된다.

이양재배 논에서 천수 간단관개를 실시하였을 때의 물 수지를 조사하기 위하여 1988년부터 1990년까지 5월부터 9월까지 강우량, 관개량, 배수량 및 포장 담수심 등의 항목은 매일 저녁 무렵에 관측하였다. 이양후 가지치기가 지난 후부터 수확 2주전까지 논바닥에 실금이 갈 때까지 건조시킨 후 논 담수심이 3~4cm가 되게 관개하고 다시 건조시키는 간단관개를 실시하였다.

관개수량은 용수가 용수지거에서 논 필지로 유입하는 위치에 직경 200mm 수도용 계량기를 설치하여 관측하였으며, 배수량은 배수가 낙수구를 통하여 배수로로 나가는 위치에 직경 100mm 수도용 계량기를 설치하여 관측하



a) 1988



b) 1990

〈그림 - 3〉 관개량, 배수량, 강우량 및 담수심

였다. 강우량은 우량계를 사용하여 관측하였으며, 담수심은 직경 120mm PVC 파이프를 논 바닥에 매설하여 관측하였다. 강우시에는 낙수구를 통한 배수량을 조절함으로써 담수심을 관리하였다.

비가 적게 온 1988년과 많이 온 1990년의 관개량, 배수량, 강우량 및 담수심의 일별 관측결과는 <그림 - 3>과 같다. 이들을 월별로 계산한 결과는 <표 - 3>과 같다. 1988년에는

관개 횟수와 양은 7회 및 379mm, 벼 생육기간 동안의 강우량은 458mm, 배수량은 448mm이었다. 1990년에는 관개 횟수와 양은 6회 및 273.5mm, 벼 생육기간 동안의 강우량은 818.5mm, 배수량은 736mm이었다. 1990년에는 평년과 비슷한 강우가 있었으나 1988년에는 평년보다 훨씬 적은 강우가 있었다. 또한 강우량의 크기가 관개량과 배수량의 크기에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있다.

〈표 - 3〉 월별 관개량 및 배수량

(단위 : mm)

연도	월	관개량	배수량	강우량	비고
1988	5	193	132	77	관개시작 5월 5일
	6	60	20	41.5	
	7	100	224	224	
	8	26	30	57.5	이앙 5월 9일
	9	0	42	58	
	소계		379	448	458
1990	5	129.5	85	44	관개시작 5월 12일
	6	49	310	298.5	
	7	59	173	237	
	8	36	113	161	이앙 5월 24일
	9	0	55	78	
	소계		273.5	736	818.5

1990년의 건답기간 시작이 1988년 보다 13일이 늦었는데 이는 이앙시기의 상이와 기상 및 벼 생육상태의 상이로 인한 것으로 생각된다. 최장 건답기간은 1988년 6월의 16일간이었으며, 이 기간 동안에 건답초기에는 무담수 표면 습윤상태이고, 후기에는 지표면에 작은 균열이 발생할 정도이다. 또 관개 초기인 1990년 5월의 물 사용량이 1988년 5월 보다 훨씬 적은 것은 1990년에는 관개기 이전에 충분한 강우로 토층에 수분이 많이 채워져 있었기 때문인 것으로 생각된다. 또, 강우량과 관개량을 합한 전체 공급량이 일반적인 경우보다 매우 적은 것은 얇은 지하층의 주수(Perched water)로 부터의 모관수 공급이 있었을 것으로 생각되나 이에 대한 관측은 하지 못하였다. 또한 천수 간단관개가 벼 뿌리 생장을 촉진하며 도복 감소에 도움을 주는 것으로 나타났다.

결론적으로 천수 간단관개를 함으로써 전통적인 심수관개에 비하여 상당한 용수절약을 가져올 수 있었다고 생각된다. 또한 공급수량의 감소로 인하여 배수량도 감소할 것으로 기대되므로 비료나 농약 유실량도 감소하게 되

어 수질보전에도 효과가 클 것으로 기대되며, 단위면적당 수확량도 일반적인 경우보다 많은 것으로 나타났다.

4. 맺는 말

여러 가지 벼 직파재배 영농기법을 소개하였고, 직파 및 무경운 직파재배가 영농경비절감에 미치는 효과를 분석하였다. 직파재배로 벼 육묘과정과 경운 및 시비작업의 생략 내지 감소로 인하여 영농경비의 절감을 얻을 수 있었다. 2000년도 기준으로 직파재배시 육묘과정 생략으로 ha당 640,000원을 절감하였고, 무경운 직파재배시에는 ha당 1,220,000원을 절감할 수 있었다.

천수 간단관개 조사는 논 담수심을 3~4cm 정도로 유지하며 간단관개를 하였을 때 관개량, 배수량, 강우량 등을 조사하였다. 천수 간단관개를 하였을 때 1988년 생육기간 동안의 관개량, 강우량, 및 배수량은 각각 379mm, 458mm 및 448mm이었고, 1990년에는 각각 274mm, 819mm 및 736mm이었다. 강우량의

크기에 따라 관개량과 배수량이 크게 차이가 나는 것을 알 수 있다. 천수 간단관개를 통하여 전통적인 관개에 비하여 관개수량을 절감할 수 있으며, 더 많은 수확량을 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

본 조사에 의하면 여러 가지 직파재배 기법과 무경운 직파재배 기법 및 천수 간단관개 기법이 물 이용효율을 제고는 물론 생력화를 통한 영농경비의 절감을 얻을 수 있어서 전통적인 이앙재배 및 심수관개보다 좋은 것으로 나타났다. 앞으로 추가적인 연구를 통하여 이러한 영농기법들의 효율성이 검증되면 많이 보급하여 용수절약은 물론 환경보전에도 이바지할 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 강양순, 2001. 벼농사에서 절수재배기술, 농어촌과 환경, No. 70. pp.70~76.
2. 농림부, 농어촌진흥공사, 1997. 영농방식 변화에 따른 필요수량 변화연구, p.306.
3. 농촌진흥청, 1993. 논 물관리체계의 자동화 연구(III), p.73.
4. 이창구. 1968. 절수의 시기 및 방법의 차이가 수도생육 수량과 기타 실용형질에 미치는 영향. 한국농공학회지 10(1): pp.32~37.
5. 정상옥, 1997. 답수직파재배 논벼의 기준작물 잠재증발산량 산정방법별 작물계수의 변화, 한국농공학회지 39(4): pp.114~121.
6. 정상옥, 안태홍. 2000. 용수절약형 논관개 기법. 한국농공학회 학술발표회 논문집, pp.108~113.
7. 정상옥, 김지용, 안태홍, 2000. 직파재배 벼의 영농기법 및 비용 절감 효과 - 현장 사례 연구, 한국농공학회 학술발표회 논문집, pp.144~150.
8. 최원영, 박홍규, 김상수, 양원하, 신원탁, 조수연, 최신영, 1997. 벼 휴耕건답직파재배에서 합리적인 절수관개방법. 한국작물학회지 42(6): pp.706~711.
9. 최진룡, 1998. 무경운 직파재배법에 의한 생산비 절감 및 고품질 쌀 생산 체계개발, 농림부 농특과제 최종보고서.
10. 홍광표, 1994. 남부지방의 논 무경운 체계에서 벼 생력재배에 관한연구, 경상대학교 박사학위논문. p.96.
11. 홍광표, 김장용, 강동주, 강남대, 최진룡. 1997. 벼-자운영 연속 무경운 직파재배에서 자운영 이용방법 차이가 토양 및 벼 생육에 미치는 영향. 한국작물학회지 42(5): pp.564~570.
12. Cho, Y.S., Lee, B.J. and Choe, J.R. 1999. Nitrogen translocation and dry matter accumulation of direct seeded rice in no tillage rice-vetch cropping. Korean J. of crop sci. 44(1): pp.44~48.
13. Hatta, S. 1967. Water consumption in paddy field and water saving rice culture in the tropical zone. Japanese Tropical Agriculture 11(3): pp.106~112.
14. Heenan, D. P. and Thompson, J. A. 1984. Growth, grain yield and water use of rice grown under restricted water supply in New South Wales. Australian Journal of Agriculture and Animal Husbandary. 24: pp.104~109.
15. Matsuno, Y., Sakthivadivel, R., and Molden, D. 2000. Water saving irrigation in Paddy Rice: From field to basin levels. Proceedings of Asian regional workshop on sustainable development of irrigation and drainage for rice paddy fields. Tokyo, Japan, pp.227~236.
16. Mizutani, M., Hasegawa, S., Koga, K., Goto, A., and Murty, V. V. N. 1999. Advanced Paddy Field Engineering. Shizan-Sha, Sci. & Tech, p.388.
17. Muirhead W. A. et al. 1989. The growth and

- nitrogen economy of rice under sprinkler and flood irrigation in south east Australia. 1. Crop response and N uptake. *Irrigation Science* 10 : pp.183~199.
18. Tabbal, D. F. et al. 1992. Water-efficient irrigation technique for rice. In *Soil and water engineering for paddy field management*, Proceedings of the International workshop, January 1992. Asian Institute of Technology. Bangkok, Thailand, pp.146~159.
19. Xu, Z. 2000. Water saving for paddy rice in China, Proceedings of Asian regional workshop on sustainable development of irrigation and drainage for rice paddy fields, Tokyo, Japan, pp.167~176.