

용수절약을 위한 SRI 벼재배 적용성 연구(II)

Paddy Cultivation using SRI Technology for Irrigation Water Saving (II)

2011. 12.



농림수산식품부



한국농어촌공사

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

본 보고서를 『용수절약을 위한 SRI 벼재배 적용성 연구』의 2차
년도 보고서로 제출합니다.

2011년 12월 10일

주관연구기관명 : 한국농어촌공사 농어촌연구원

연구책임자 : 박기옥

연구원 : 조진훈

윤동균

오승태

나민철

공동연구기관명 : 강원대학교 산학협력단

연구책임자 : 최중대

연구원 : 원철희

박운지

신민환

최용훈

신재영

박병준

이수인

신영태

요 약 문

I. 과 제 명: 용수절약을 위한 SRI 벼재배 적용성 연구

II. 연구기간: 2011년 1월 ~ 2011년 12월 (총3년중 2년차)

III. 연구 목적 및 필요성

필리핀에 본부를 두고 있는 국제미작연구소 (IRRI)는 2004년에 21세기 농업의 연구개발목표로 농지의 생산성증대, 관개용수의 효율성 증대, 영세농을 위한 저비용 고품질 농업기술 개발, 환경친화적 재배기술 개발, 병충해 저항성 증대기술 개발, 기후변화 대응성의 향상, 쌀의 품질개선, 그리고 농민의 수익성 개선 등 8가지를 제시하였다. 이와 같은 8가지의 목표를 만족시킬 수 있는 논벼재배방법으로 각광받는 방법 중의 하나가 바로 SRI(System of Rice Intensification)이다.

SRI 벼재배 방법은 1980년대 아프리카 동쪽의 섬나라인 마다가스카르에서 프랑스인 선교사에 의해 기초가 마련되었으며, 그 후 미국 코넬대학교 연구소 중의 하나인 CIIFAD(the Cornell International Institute for Food, Agriculture and Development) 소장인 Dr. Norman Uphoff 교수 등의 연구진에 의하여 전세계로 전파되고 있다. 현재, 2011년을 기준으로 중국, 인도네시아 등 40개국 이상에서 SRI 방법을 이용하여 벼농사를 짓고 있다.

이러한 SRI 벼재배를 성공적으로 수행하기 위해서는 어린모 (5~7 cm)를 사용해야 하며, 뿌리에 피해를 최소화하기 위해 1개씩 조심스럽게 이앙해야 한다. 그리고 가급적 넓은 간격으로 이앙(최소한 30×30 cm이상)해야 하며 비담수재배로 토양을 호기성 조건으로 유지해야 한다. 또한, 토양의 유기물 개선을 위해 유기비료를 사용하는 것을 권장한다. 이렇게 SRI 원칙을 준수하여 벼재배시 50~100% 이상까지 생산성 향상, 25~50%까지 관개용수의 절약, 가뭄저항성과 도복저항성의 증대, 미질의 향상, 그리고 10~20% 생산비

절감을 통한 농민의 소득증대 등의 효과를 얻을 수 있다. 또한, SRI 농법은 토양을 호기성 상태로 유지해야 하기 때문에 메탄가스의 발생량을 획기적으로 저감시켜 지구온난화를 초래하는 온실가스 배출저감에도 큰 기여를 할 수 있다.

우리나라의 쌀 증산기술은 상당한 수준에 있기 때문에 쌀 증산보다는 향후 물부족 사태에 대비하기 위한 관개용수 절감기술의 개발이 절실한 실정이다. SRI는 관개용수를 25~50%까지 절감할 수 있는 기술로 이미 입증되었으므로 우리나라에서 농업용수를 10%만 절감하여도 공업용수 54%, 생활용수 22%를 대체할 수 있을 정도로 논 농업에서 관개용수 절감기술은 매우 중요하다. 현재 우리나라의 전체용수사용량 중 농업용수가 차지하는 비중이 48%에 달하며, 이중 약 90%가 논에서 사용되고 있다. 물부족이 예상되는 현 시점에서 녹색성장, 수자원확보, 수질관리 등에 부응할 수 있는 농업용수 저감 기술이 필요하다. 담수재배를 기본가정으로 수행하고 있는 현재의 벼재배 기술로는 관개용수를 절감하는데 한계가 있다. 따라서 비담수재배를 기본가정으로 하는 SRI 재배기술을 우리나라의 논 농업에 적용하여 관개용수 절감가능성을 평가하고 그 적용가능성을 조사할 필요성은 충분히 있다고 판단된다.

이에 본 연구에서는 SRI를 우리나라 논농업에 도입하기 전에 필요한 기초 자료를 습득하기 위한 연구로 관행재배와 SRI 재배 방법의 소비수량(관개용수) 차이를 실험적으로 조사하고자 하였다. 이를 위해 관행적인 벼재배와 SRI 벼재배원리를 적용한 논 시험포를 설치하고 관개량, 벼생육상태, 벼 생산량 등을 측정하고 비교하여 우리나라에서 SRI 벼재배방법의 적용가능성을 평가하고자 하였다.

IV. 연구수행 내용 및 범위

본 연구는 SRI 국내도입을 위한 시험포를 설치하고 운영하여, SRI 재배방식에 따른 농업용수 절감량과 쌀 수확량 비교.분석을 통해 SRI의 적용가능성을 평가하는데 있으며, 연구내용 및 범위는 다음과 같다.

1. SRI 벼재배 관련 연구 자료 수집

- SRI 벼재배 적용 사례조사 (문헌연구)
- 포트과종기 및 이앙기를 이용한 벼재배지 견학 및 기술자료 수집

2. 관행 및 SRI 시험포 설치 및 운영

- 포장준비: 1차년도와 동일한 크기의(5×15 m) 시험포 8개 조성
- 계측시설 설치: 수위계, 수도계량기, 플룸 및 AWS 등
- 관행 및 SRI 벼재배 실험설계: 대조구(관행, 화학비료), SRI 재배(화학비료). 모의 재배품종으로 오대벼 사용. SRI의 경우 생산성 증대를 위해 포트재배한 모를 1개씩 이앙하는 방법뿐만아니라 포기당 2-3주를 이앙하는 방법 적용
- 시험포 관리, 인력 및 장비의 확보: 시험포의 경운, 씨레질 모재배, 이앙, 제초, 시비, 수확, 탈곡, 도정 등 영농관리는 전문 인력을 장기적으로 고용하여 활용
- 담수 재배하는 관행시험포는 시험포 지역의 논물관리 관행에 따라 관개용수공급, SRI는 SRI 원칙에 의거하여 물관리 실시
- 관개량, 강우량, 유출량, 시비량, 농약사용량, 토양함수비등을 모니터링하고 측정
- 수질 분석 (BOD, COD, TN, TP 등)
- 토양시료 분석 (입도분석, 유기물함량 및 중금속등)

3. 관행 및 SRI 작물 생육모니터링 및 수확량 조사

- 대조구와 실험처리구의 벼씨 소독부터 과종, 모의 재배방법과 성장, 이앙방법, 이앙 후 시기별로 벼의 성장(분얼수 및 벼크기), 이삭의 규모, 수확, 건조, 도정등의 제반과정에서 나타나는 현상을 정밀히 기록하고 모니터링

- 관개용수 사용량 비교
- 벼 성장단계별 분얼수 및 벼크기 비교
- 수확량 조사: 처리구별 50주씩 수확하여 탈곡 후 칭량하여 ha 당 수량으로 환산함(수분함량 15% 이하)
- 벼의 생육 및 수량성 분석을 위해 주당수수, 수당립수 및 등숙비율 등을 측정
- 쌀의 품질 및 식미평가 실시

4. 표준 영농 교본(안) 분석

- 국내 SRI 벼재배 도입을 위한 표준재배지침을 작성하고 보급 할 수 있도록 외국의 SRI 재배방법을 조사 및 분석
- 파종, 시비, 제초 및 기타 영농관리를 위한 방법을 정밀히 분석하여 이를 토대로 SRI 재배를 위한 표준영농교본(안) 기술

V. 연구결과

SRI 국내도입을 위한 시험포를 설치하고 운영하여, SRI의 적용가능성을 평가하기 위해 수행한 2차년도(2011년) 연구사업의 연구결과는 다음과 같다.

1. 포트파종기 및 이앙기를 이용한 벼재배지 견학 및 기술자료 수집

- SRI 벼재배시 극복해야 할 문제 중 하나는 바로 포트파종 및 포트이앙을 위한 기기개발이다. 이러한 문제를 해결하는데 도움이 될 수 있을 것으로 판단하여 2011년(당해연도) 2회(4월 16일 포트파종기 견학, 5월 28일 포트이앙기 견학)에 걸쳐 포트재배를 시행하고 있는 여주군 능서면 마래리에 위치한 친환경 벼재배 농사지역을 견학하였으며, 포트재배와 관련한 자료를 수집하여 보고서(부록)에 첨부하였다.

2. 연구대상 지역의 토양특성 및 기상현황

- 토양 입도분석결과 입경가적곡선의 균등계수(Cu)는 150, 곡률계수(Cg)는 1.13으로 토양의 입도분포가 양호한 것으로 나타났다. 시험 토양은 모래 48.6%, 실트 33.8%, 점토 17.5%로 측정되었으며, 논의 토성은 양토(Loam)로 일반적인 우리나라 논토양 입경분포에 비해 모래성분이 13.8% 이상 높은 것으로 조사되었다.
- 시험포의 초기토양은(지렁이 분변토 주입 후) 평균 $21.6 \pm 2.3\%$ 의 수분을 포함하고 있으며, 유기물함량(Organic matter, OM)은 28 ± 1.0 g/kg, pH 6.3 ± 0.2 , 유효규산 163 ± 23 mg/kg로 측정되었다. 교환성 양이온의 경우 Ca는 6.0 ± 0.3 cmol/kg, Mg는 1.9 ± 0.2 cmol/kg 그리고 K는 0.5 ± 0.06 cmol/kg로 측정되어 칼륨(K)을 제외한 모든 화학적 성분은 벼재배를 위한 논토양의 화학성분 최적범위내에 있는 것으로 분석되었다.
- 시험토양의 성분 변화를 시기별로 분석한 결과 pH 및 유기물함량은 시험전에 비해 모든 재배양식에서 낮아졌으며, 교환성양이온 및 중금속 함량도 대체적으로 감소하는 경향을 보였다. 하지만 유효인산 함량은 시험전에 비해 증가하였는데, 특히 SRI 시험포에서 2배 이상 증가한 것으로 나타났다.
- TDR 장비를 이용하여 토양수분을 측정한 결과 관개시 토양수분은 약 21~23% 범위내에 있는 것으로 나타났으며, 이때의 논 수위측정시설의 물 높이는 논 표면(기준점 0)을 기준으로 아래로 약 15~20 cm 정도인 것으로 조사되었다.
- 연구기간동안 총 48회의 강우가 발생하였으며, 이중 20 mm 이상의 강우는 22회로, 일 강우량은 0.3 mm에서 232.6 mm의 범위를 보였다. 강우시 모니터링 결과, 대체적으로 20 mm 이상의 강우에서 유출이 시작되는 것으로 나타났으며, 유출계수는 관행 시험포의 경우

0.83~0.96, SRI 시험포는 0.70~0.89의 범위로 산정되었다.

3. 관개용수 사용량

- 논 시험토의 침투량, 감수심 및 증발산량은 총 9회 측정하였으며, 1일 평균증발산량은 4.6 mm (감수심 4.9 mm, 침투량 0.3 mm)인 것으로 나타났다.
- 관행시험포(상시담수)의 경우 총용수사용량은 46.6 m³ (719 mm)으로 산정되었으며, SRI시험포의 경우 23.6 m³ (365 mm)으로 산정되어 관행대비 49.4%의 농업용수를 절감한 것으로 분석되었다.

4. 관행 및 SRI 작물생육모니터링

- 파종 후 관행 및 SRI 모의 상태를 관찰한 결과 크기뿐만 아니라, 분얼수 및 뿌리의 발달이 관행에 비해 SRI가 월등히 우수한 것으로 나타났다.
- SRI 원칙에 부합하도록 어린모(5~7 cm)를 이앙하려면 파종 후 분얼과 생장성장이 본격화되기 전인 15일 이내에 이앙을 하는 것이 바람직한 것으로 분석되었다.
- SRI 및 관행 시험포내 벼의 분얼수 및 벼크기 변화를 계속적으로 측정한 결과 전체적으로 벼크기 경우 계속적으로 증가하는 것으로 나타났다으며, 분얼수는 7월 20일을 기점으로 최고분얼수를 나타내었다. SRI의 분얼수는 관행 대비 최대 1.9배(최소 1.2배) 이상, 벼크기는 최대 약 8 cm 높은 수치를 나타내었으며, SRI 시험포에서 재식거리가 클수록 분얼수 및 벼크기가 높은 값을 보이는 것으로 조사되었다. 전체적으로 SRI 시험포가 관행에 비해 분얼수 및 벼크기가 큰 것으로 나타났으며, 이에 SRI 재배가 관행에 비해 작물생육에 있어 더 효과적인 것으로 판단된다.

5. 수확량 및 쌀의 품질

- SRI 벼재배의 포기당 볍씨무게가 관행에 비해 3.8배 이상 높게 측정되었다. 그리고 SRI의 수확량은 관행 대비 백미 기준으로 109-120%의 범위를 보였으며, 완전미 기준으로 120-133%의 범위를 나타내었다.
- SRI 시험포가 관행에 비해 주당수수, 수당립수 및 등숙비율이 높은 것으로 나타났다.
- 각 처리별 쌀의 품질 및 식미평가 결과 전체적으로 SRI 시험포가 관행에 비해 높은 것으로 평가되었으며, 재식거리가 증가할수록 (40×40 cm) 모의 이앙개수(3개)가 많을수록 높은 값을 보이는 것으로 나타났다.

6. 온실가스 측정

- 물관리 방법에 따른 논에서의 온실가스 배출량 측정 결과 SRI 벼재배는 관행(상시담수) 대비 71.8%의 온실가스 감축효과가 있는 것으로 분석되었다. 아직까지 구체적인 농업계 온실가스 감축계획이 없는 현 실정에서 SRI 벼재배 기술은 온실가스 감축을 위한 좋은 대안으로 판단된다.

7. 표준 영농 교본(안) 분석

- 국내 SRI 벼재배 도입을 위한 표준재배지침을 작성하고 보급할 수 있도록 외국의 SRI 재배기술 방법을 조사하고, 본 연구과제를 수행하는 동안 파종, 모내기, 물관리 등의 영농관리를 위한 방법등을 정리하여 이를 토대로 SRI 재배를 위한 표준영농교본(안)을 기술하였다.
- 현재까지는 연구초기단계로 지속적인 연구를 통해 국내 특성에 맞게 기술을 더욱 개선해야 할 것으로 판단되며, 표준 영농 교본(안)

자료는 보고서(부록)에 첨부하였다.

VI. 연구의 실용화 방안

가. 실용화 방안

- 농촌용수 유지관리에 활용
- SRI 벼재배 기술의 실용화 및 보급

나. 실용화 부서

- 농림수산식품부 농업기반과
- 시군 농촌용수 담당 부서 및 한국농어촌공사 수자원관리처

목차

제 1 장 서론	3
1.1 연구배경 및 필요성	3
1.1.1 연구의 과학기술, 사회경제적 중요성	6
1.1.2 지금까지의 연구실적	7
1.1.3 앞으로의 전망	8
1.2 연구목표 및 내용	9
1.2.1 최종 연구목표	9
1.2.2 당해연도 연구 목표 및 내용	10
1.3 기대효과	12
1.3.1 정책적·기술적 측면	12
1.3.2 경제·산업적 측면	12
제 2 장 SRI 벼재배 기술현황	17
2.1 SRI 벼재배 적용사례	17
2.1.1 중국	17
2.1.2 북한	32
2.2 SRI 벼재배 연구현황	35
2.2.1 중국 농업부와 난징농업대학교의 연구사례	38
2.2.2 중국의 SRI 재배와 적용성 연구사례	40
2.2.3 중국 Sichuan 지역의 SRI 적용연구사례	44

2.2.4 중국 Changsha 지역의 SRI 연구사례	50
제 3 장 관행 및 SRI 시험포 설치 및 운영.....	55
3.1 연구대상지역	55
3.2 관행 및 SRI 벼재배 실험설계.....	57
3.3 시험포 설치 및 운영.....	61
3.3.1 포장정비	61
3.3.2 계측설비 설치.....	63
3.3.3 법씨준비 및 종자소독.....	66
3.3.4 파종	67
3.3.5 시비 및 로타리 작업.....	69
3.3.6 이앙(모내기).....	70
3.3.7 제초작업.....	73
3.3.8 관행 및 SRI 시험포 물관리.....	74
3.4 유량측정 및 시료분석.....	77
3.4.1 유량측정	77
3.4.2 시료채취 및 분석.....	78
제 4 장 관행 및 SRI 작물생육모니터링 및 수확량 조사.....	81
4.1 토양특성 및 기상현황.....	81
4.1.1 토양 특성.....	81
4.1.2 토양성분 함량 변화.....	82
4.1.3 토양수분 함량 변화.....	86

4.1.4 기상(강우량)현황.....	87
4.2 관개용수 수질현황 및 사용량.....	89
4.2.1 관개용수 수질현황.....	89
4.2.2 관개용수 사용량.....	91
4.3 절 관행 및 SRI 작물 생육모니터링.....	94
4.3.1 파종 후 모의 크기 변화.....	94
4.3.2 관행 및 SRI 의 분얼수 및 벼크기 변화.....	98
4.4 벼의 수확량 및 품질.....	108
4.4.1 수확량.....	108
4.4.2 쌀의 품질.....	111
4.5 온실가스 배출량 평가.....	112
제 5 장 결론.....	117
5.1 연구대상 지역의 토양특성 및 기상현황.....	117
5.2 관개용수 사용량.....	118
5.3 관행 및 SRI 작물생육모니터링.....	118
5.4 수확량 및 쌀의 품질.....	119
5.5 온실가스 측정.....	119
5.6 향후(차년도) 연구계획.....	120
제 6 장 연구개발목표 달성도 및 연구실적.....	123
6.1 연구개발목표 달성도.....	123
6.2 연구실적.....	124

1. 논문 게재 실적	124
2. 학술회의 발표 실적	124
6.3 연구개발 결과의 활용계획	125
1. 활용하고자 하는 사업명	125
2. 활용 주관부서	125
3. 사업 반영내역 및 계획	125
4. 사업부서 교육 및 기술지원 내역 및 계획 등 기타활용 방안	125
제 7 장 참 고 문 헌	129
제 8 장 부 록	137
부록 I. 포트재배 관련 자료수집 (포트파종기와 포트이앙기 견학)	137
부록 II. SRI 벼재배 표준영농지침(안)	141

표목차

(표 1-2-1) 단계별 연구 목표 및 내용	10
(표 1-2-2) 당해연도 연구내용 및 방법	11
(표 2-1-1) 중국 Sichuan 성에서의 년도별 SRI 재배면적 변화	24
(표 3-1-1) 월별 평균기온, 강수량, 일조시간 및 상대습도	56
(표 3-1-2) 춘천시 기상개황	56
(표 3-2-1) 연구기간동안의 영농활동	59
(표 3-2-2) 각 처리별 주요 영농방법 비교	59
(표 3-3-1) 관행재배의 생육단계별 물관리	75
(표 3-4-1) 수위-유량 관계식 및 결정계수	77
(표 4-1-1) 논토양의 토성	82
(표 4-1-2) 초기 논토양의 성분함량	83
(표 4-1-3) 각 시험포의 논토양 성분함량 변화 (계속)	83
(표 4-1-3) 각 시험포의 논토양 성분함량 변화 (계속)	84
(표 4-1-3) 각 시험포의 논토양 성분함량 변화 (계속)	85
(표 4-1-4) 연구대상지역의 일별 강우사상 (단위: mm)	88
(표 4-2-1) 농업용수 수질기준(수자원별 기준)	90
(표 4-2-2) 농업용수 수질측정 결과 비교	90
(표 4-2-3) 논 시험포의 증발산량	91
(표 4-2-4) 우리나라 벼농사에 있어서 관개수량	93
(표 4-2-5) 각 시험포별 관개용수 사용량	93
(표 4-3-1) 재배방법에 따른 분얼수 및 벼크기 변화	107
(표 4-4-1) 처리별 벼의 생육 및 수량성	110
(표 4-4-2) 쌀 품질 및 식미평가	111

(표 4-5-1) 물관리 방법별 온실가스 총 배출량 비교 113

그림목차

<그림 1-1-1> SRI 연구 수행 국가	3
<그림 2-2-1> 포기당 삼각형 모양 3주 이앙, 정방향 및 장방향 이앙 종류.....	45
<그림 3-1-1> 연구대상지역	55
<그림 3-2-1> 관행 및 SRI 시험포 조성 및 기기설치 개략 평면도	58
<그림 3-2-2> 관행 및 SRI 시험포 기기설치 사진	60
<그림 3-3-1> 둑 및 배수로 정비작업	62
<그림 3-3-2> 수도시설 설치 및 재정비	63
<그림 3-3-3> 계측시설 설치	64
<그림 3-3-3> 계측시설 설치 (계속)	65
<그림 3-3-3> 계측시설 설치 (계속)	66
<그림 3-3-4> 종자 소독 및 침종	67
<그림 3-3-5> 관행 법씨 파종	68
<그림 3-3-6> SRI 법씨 파종	69
<그림 3-3-7> 시비 및 로타리 작업	70
<그림 3-3-8> 강원영서 및 영동지방 평야지 벼 이앙 적기	71
<그림 3-3-9> 관행 및 SRI 시험포 모내기 (2011. 5. 13일)	72
<그림 3-3-10> SRI 시험포 벼 이앙 형태	72
<그림 3-3-11> 제초작업	74
<그림 3-3-12> 효율적인 관개를 위한 물관리 제어 장치 (IRRI)	76
<그림 3-3-13> 효율적인 관개를 위한 물관리 제어 장치 적용	76
<그림 4-1-1> 토양 입도 분포도	81
<그림 4-1-2> 토양수분변화	86

<그림 4-1-3> 연구대상지역의 일강우 분포도	87
<그림 4-3-1> 파종 후 모 크기변화 측정	94
<그림 4-3-2> 관행 모 크기변화 비교 (2010년 & 2011년)	95
<그림 4-3-3> 파종 후 관행 및 SRI 모의 크기변화 비교 (2011년)	96
<그림 4-3-4> 관행 및 SRI 모의 크기, 뿌리발달, 분얼수 비교	97
<그림 4-3-5> 분얼수 및 벼크기 변화(관행 1번 시험포)	99
<그림 4-3-6> 분얼수 및 벼크기 변화(관행 2번 시험포)	99
<그림 4-3-7> 분얼수 및 벼크기 변화(3번 시험포, 중간낙수 2회)	100
<그림 4-3-8> 분얼수 및 벼크기 변화(4번 시험포, 관행모내기+SRI 물관리).....	100
<그림 4-3-9> 분얼수 및 벼크기 변화(SRI 5번 시험포, 모의개수 1개).....	101
<그림 4-3-10> 분얼수 및 벼크기 변화(SRI 5번 시험포, 모의개수 2개).....	101
<그림 4-3-11> 분얼수 및 벼크기 변화(SRI 5번 시험포, 모의개수 3개).....	102
<그림 4-3-12> 분얼수 및 벼크기 변화(SRI 6번 시험포, 모의개수 1개).....	102
<그림 4-3-13> 분얼수 및 벼크기 변화(SRI 6번 시험포, 모의개수 2개).....	103
<그림 4-3-14> 분얼수 및 벼크기 변화(SRI 6번 시험포, 모의개수 3개).....	103
<그림 4-3-15> 분얼수 및 벼크기 변화(SRI 7번 시험포, 모의개수 1개).....	104
<그림 4-3-16> 분얼수 및 벼크기 변화(SRI 7번 시험포, 모의개수 2개).....	104
<그림 4-3-17> 분얼수 및 벼크기 변화(SRI 7번 시험포, 모의개수 3개).....	105
<그림 4-3-18> 분얼수 및 벼크기 변화(SRI 8번 시험포, 모의개수 1개).....	105
<그림 4-3-19> 분얼수 및 벼크기 변화(SRI 8번 시험포, 모의개수 2개).....	106
<그림 4-3-20> 분얼수 및 벼크기 변화(SRI 8번 시험포, 모의개수 3개).....	106
<그림 4-4-1> 벼의 수확 및 건조	109
<그림 4-5-1> 물관리 방법별 메탄 및 아산화질소 배출 양상 비교	112
<그림 4-5-2> 물관리 방법별 메탄 및 아산화질소 총 배출량 비교	113

<사진 1> 현장 방문 사진(포트과종기)	138
<사진 2> 현장 방문 사진(포트이앙기)	139

제 1 장 서 론



한국농어촌공사 농어촌연구원

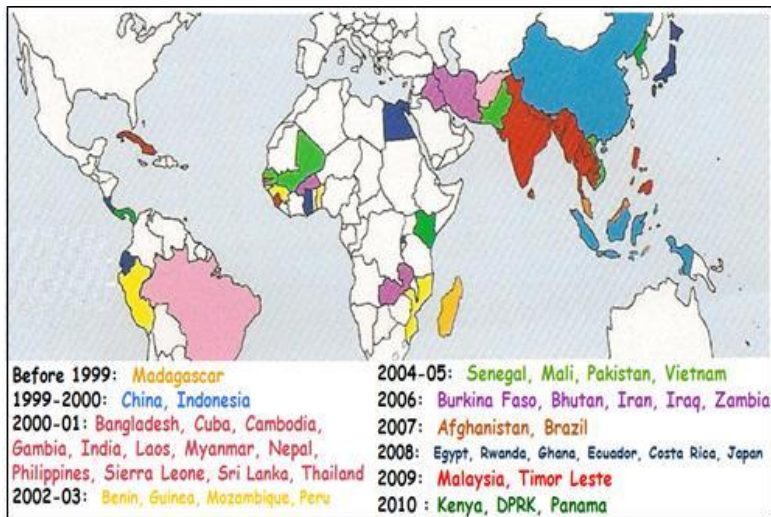
강원대학교

제1장 서론

1.1 연구배경 및 필요성

필리핀에 본부를 두고 있는 국제미작연구소(IRRI)는 2004년에 21세기 논농업의 연구개발목표로 농지의 생산성증대(higher yield), 관개용수의 효율성 증대(more crop per drop), 영세농을 위한 저비용 고생산 농업기술 개발, 환경친화적 재배기술 개발, 병충해 저항성 증대기술 개발, 기후변화 대응성의 향상, 쌀의 품질개선, 그리고 농민의 수익성 개선 등 8가지를 제시하였다. 이와 같은 8가지의 목표를 만족시킬 수 있는 논벼재배방법으로 각광받는 방법 중의 하나가 바로 SRI(System of Rice Intensification)이다.

SRI 벼재배방법은 1980년대 아프리카 동쪽의 섬나라인 마다가스카르에서 프랑스인 선교사에 의해 기초가 마련되었으며, 미국 코넬대학교 연구소 중의 하나인 CIIFAD(the Cornell International Institute for Food, Agriculture and Development) 소장인 Dr. Norman Uphoff 교수 등의 연구진에 의해 전세계로 전파되고 있다. 현재, 2011년을 기준으로 중국, 인도네시아 등 40개국 이상에서 SRI 방법을 이용하여 벼 농사를 짓고 있다(그림 1-1-1).



<그림 1-1-1> SRI 연구 수행 국가

SRI의 장점은 50~100% 이상까지 생산성 향상(동남아시아 저개발국가의 생산성 기준), 25~50%까지 관개용수의 절약, 초기 투자비용의 최소화, 농업화학물질 사용의 최소화, 병충해 저항성의 증대, 가뭄저항성과 도복저항성의 증대, 미질의 향상, 그리고 10~20% 생산비 절감을 통한 농민의 소득증대 등이다. 이는 IRRI에서 제시한 8가지의 논농업 연구개발 목표와 일치하고 있다. 새로운 다수확품종의 도입 없이 물과 비료관리 방법의 변경만으로 논농업의 생산성 향상과 관개용수의 절감면에서 매우 획기적인 방법으로 인식되고 있다.

SRI는 실체가 없는 벼농사 방법으로 농민들의 경험과 과학적 관측사실을 종합하여 정립된 일련의 원칙으로 구성되어 있다. SRI는 벼의 성장환경을 개선하여 생산성을 증대하는 방법이지 첨단 농업기술은 아니다. 그리고 SRI는 현재도 세계의 많은 나라에서 과학적인 실험을 통하여 지속적으로 개선되고 있다. 이와 같은 SRI 재배를 성공적으로 수행하기 위해서는 다음과 같이 6가지 원칙을 준수해야 한다.

- ① 어린묘(5~7 cm)의 사용
- ② 이앙시 뿌리에 피해를 최소화: 빠른 이앙, 얇고, 곧게 심어 성장에 장애를 최소화
- ③ 가급적 넓은 간격 유지: 한곳에 한포기씩 심고, 정사각형을 유지(이앙간격은 최소 30 cm 이상)
- ④ 토양수분은 지속적으로 답수가 되지 않도록 하며 촉촉하게 유지 (비답수 재배)
- ⑤ 토양의 통기성 개선
- ⑥ 토양의 유기물 개선 (유기비료 사용)

이와 같은 SRI 원칙을 준수하며 벼농사를 지을 경우, 첫째 50~100% 혹은 그 이상의 쌀 생산량을 증가시킬 수 있다. 둘째 25~50%의 관개용수를 절약할 수 있다. SRI는 천수답에도 적용하여 천수답의 생산성을 높이는데 많은 기여를 할 수 있다. 셋째 19~20%의 생산비를 절감하여 농민의 소득증대에 기여한다. 넷째 벼의 도정시 약 15%의 추가적인 증수효과를 거둘 수 있다. 다섯째 벼의 병충해 저항성 증대로

농약의 사용량을 감소시킬 수 있다. 이는 토양이 호기성 상태를 유지하며 화학비료의 사용을 최소화하고 유기비료를 많이 사용하므로 벼 뿌리의 발육이 매우 양호하여 벼가 튼튼하게 자라서 병충해에 강하기 때문이다. 그리고 여섯째로 기후변화로 인한 태풍이나 강풍 등에 쓰러지지 않는 도복저항성이 커지는 등 자연재해의 저항성이 크게 높아진다. 이와 같은 이유로 SRI 벼농사 재배법은 동남아시아는 물론 전세계의 저개발국을 중심으로 빠르게 전파되고 있다.

SRI는 동남아시아와 같은 열대나 아열대 지역에서만 적용되는 것은 아니다. SRI는 중국에서 많은 연구가 이루어졌다. SRI는 중국의 남부지역뿐만 아니라 북부지역의 하얼빈에 있는 동북농업대학교의 Jin xueyoung 교수는 SRI 원리를 적용하여 매우 성공적으로 관행의 벼농사보다 수확이 높은 벼농사(8~9 t/ha)를 성공하여 중국 북부 지방에서 SRI의 확산에 기여하고 있다(Jin et al., 2005). 추운 곳에서 SRI를 적용하기 위해서 어린모 보다는 더 성숙한 모를 비닐하우스에서 재배하여 본답에 이양하고 있다.

SRI는 관개용수의 사용량이 작기 때문에 환경에도 매우 유리하다. 관개용수 사용량이 25~50%까지 절감될 수 있기 때문에 논외의 비점오염원 배출이 감소되고 수질개선에 기여할 수 있다. 또한 우리나라 용수사용량 중 농업용수가 차지하는 비중이 48%에 달하는데 이중 25%만 저감할 수 있어도 엄청난 양의 농업용수를 절약할 수 있다. 게다가 SRI는 지구온난화를 초래하는 온실가스 배출저감에도 많은 기여를 할 수 있다. SRI를 적용하기 위해서는 논토양이 호기성 상태를 유지해야 하기 때문에 벼농사의 단점 중의 하나인 메탄가스의 발생량이 현저히 감소한다. 메탄가스는 탄산가스보다 온실효과가 매우 큰 온실가스이다. 우리나라의 농업중 경종분야에 발생하는 온실가스(탄산가스로 환원한 무게)의 양은 12,024 천톤이다. 이중 논에서 6,252 천톤이 발생된다. 상시답수 논에서 3,782 천톤 그리고 간단관개 논에서 2,470 천톤으로 논외 토양이 일시적이거나 호기성 상태를 유지할 수 있는 논에서 온실가스의 발생량이 크게 감소한다(노기안 등, 2009). 따라서 SRI 농법은 토양을 상시 호기성 상태로 유지해야 하기 때문에 메탄가스의 발생량을 획기적으로 저감시켜 지구온난화 방지에도 큰 기여를 할 수 있다.

SRI를 우리나라에 적용하는 데는 극복해야 할 문제도 많이 있을 수 있다. 이 중에서 모내기를 위한 새로운 이앙기의 개발, 잡초제거를 위한 농기계의 개발 등이 극복해야 할 중요한 과제가 될 수 있다. 그러나 이와 같은 과제는 SRI 적용을 통하여 상당한 규모의 농업용수 절약이 가능하고 또한 쌀의 생산성 향상이 이루어질 수 있다면 충분히 극복할 수 있는 과제가 될 수 있다. 따라서 전세계적으로 급속히 보급되고 있는 SRI 벼재배방법을 우리나라의 논 농업에 적용하여 그 적용가능성을 조사할 필요성은 충분히 있다고 판단된다.

현재 농촌진흥청에서 관개용수 절감목적으로 담수재배 혹은 간단관개라는 전제하에 일부의 연구를 진행하기는 했지만 토양을 호기성 상태로 유지하는 SRI 재배방법과는 전제조건이 다른 연구이며, 이와 같은 간단관개를 통한 벼재배방법은 잡초의 제어 등에 문제가 있어 깊은 연구는 수행되지 못하고 있는 실정이다. 그리고 유기비료의 사용과 토양의 호기성 상태(건조상태)유지로 토양미생물의 왕성한 활동을 전제로 하는 SRI 벼재배방법은 국내에서 시도되지 않는 벼재배 및 농업용수 관리기술이다.

우리나라의 쌀 증산기술은 상당한 수준에 있기 때문에 쌀 증산보다는 향후 물부족 사태에 대비하기 위한 관개용수 절감기술의 개발이 절실한 실정이며, SRI는 관개용수를 25~50%까지 절감할 수 있는 기술로 이미 입증되었으므로 우리나라에서 농업용수를 10%만 절감하여도 공업용수 54%, 생활용수 22%를 대체(허승오 등, 2009)할 수 있을 정도로 논 농업에서 관개용수 절감기술은 매우 중요한 연구개발 과제가 될 수 있을 것으로 보인다. 담수재배를 기본가정으로 수행하고 있는 현재의 벼재배 기술로는 관개용수를 절감하는데 한계가 있다. 따라서 비담수재배를 기본가정으로 하는 SRI 재배기술을 적용하여 관개용수 절감가능성을 평가하기 위한 연구가 절실히 필요하다.

1.1.1 연구의 과학기술, 사회경제적 중요성

가. 기술적 측면

최근 농업분야에서는 녹색성장과 생산성 증대를 위한 SRI 방법 등 다양한 최신 재배기술이 미국, 동남아, 아프리카를 중심으로 시험연구과 수행되었고, 확산되고

있는 추세이다. 기존의 농업생산은 녹색혁명(Green Revolution)으로 종자개량, 물, 비료 및 농약 등 외부투입재의 증가에 따른 농업생산성 증대를 유도하고자 하는 것이며, 이에 반해 SRI는 농업생태학의 측면에서 작물이 가진 잠재력 발휘를 위해 뿌리의 성장 촉진, 토양의 풍요성과 다양성 증대를 통하여, 작물, 토양, 물 및 양분의 관리방법의 개선을 통한 생산성 제고를 달성하고자 하는 것이다.

나. 경제.산업적 측면

SRI의 도입에 따른 효과는 50%이상의 생산성 제고, 용수공급량의 25~50% 절감, 농민소득 50~100%증가 등으로 현저하게 나타나고 있으며, 환경적으로 유리한 점 등 우리나라에서도 새로운 영농방법의 도입가능성을 검토할 필요가 있다. SRI 재배기술이 쌀의 증산과 관개용수의 절약을 유도할 수 있다면 SRI 재배에 필요한 이앙기와 제초기의 개발이 필요하며, 따라서 새로운 농업기계 개발을 위한 당위성을 제공하고 산업발전에 기여할 수 있다.

다. 사회.문화적 측면

용수부족에 대비하여 동남아시아, 중국 등 40개 이상의 국가에서 시행중인 용수 절약과 쌀 증산기술로 인정받고 있는 SRI의 국내 도입이 가능하며, 기존에 사용하던 벼의 답수재배에서 비답수 재배로 전환될 수 있다면 농촌지역의 영농활동뿐만 아니라 사회문화적으로도 많은 영향을 미칠 것으로 판단됨

1.1.2 지금까지의 연구실적

- 관개용수 저감과 쌀 증산을 위한 연구는 주로 농촌진흥청 국립농업과학원과 같은 농업연구기관에서 수행되었다. 지구온난화와 장래 용수수요 전망 등의 연구 결과에 따라 물부족이 예상되고 있기 때문에 물부족에 대비한 관개용수 저감과 관련된 일부의 연구가 수행되었다. 농촌진흥청의 전원태 등(2011) 연구팀은 녹비작물 헤어리베치 투입 논의 물관리 방법(간단관개) 등의 연구를 통하여 관개용수 절약가능성을 연구하였다.
- 약 20년전에 마다가스카르에서 SRI 재배기술이 정립되어 미국 코넬대 농업연구기관에서 확대보급하여, 현재 동남아시아, 남아메리카, 아프리카의 40여 개국

에서 용수절약 및 쌀 증산기술로 평가받고 있다.

- 농촌진흥청은 연구개발사업인 2010년도 농업 R&D 15대 어젠다를 설정하고 연구과제를 공모하고 있다. 이중 제 5 어젠다인 기후변화대응 미래농업기술개발 부문의 세부과제로 “물부족 대응 절약기술”과 “온실가스 저감기술” 개발 등 SRI 벼재배 기술이 적합할 수 있는 연구과제가 공모될 정도로 물절약기술과 온실가스 저감기술의 연구가 필요하다(<http://atis.rda.go.kr>).
- 외국의 SRI 연구는 대학과 국가적인 차원에서 조직적으로 수행되고 있는 것으로 판단되고 있다.
- 2009년 10월 7-9일 사이에 인도네시아의 보고르 농업대학에서 개최된 제7차 PAWEES 국제학술회의에서도 SRI와 관련된 논문뿐만 아니라 SRI 특별세션이 개최되었으며, 2011년 3월에는 SRI 특별세션으로 PWE 학술지에 17편의 SRI 관련 논문이 게재되었다.

1.1.3 앞으로의 전망

- 기후변화, 영농방식 변화 등 향후 예측되는 변화요인에 따라 농업용수의 부족이 예상되어 고품질의 농산물 생산을 위한 새로운 영농방법의 도입이 요구될 것으로 보인다.
- SRI 벼재배 기술은 쌀을 생산하는 거의 모든 국가로 빠르게 전파되고 또한 SRI의 과학적 근거를 제공하기 위한 연구가 지속적으로 수행될 것으로 전망된다.
- SRI 벼재배 기술이 우리나라에서 성공하여 관개용수의 상당량을 절감할 수 있다면 우리나라의 농업용수원 개발 및 활용, 용배수 기반시설, 시설관리 및 자동화 기술 등에 많은 영향을 미칠 수 있는 중요한 기술이 될 수 있을 것으로 보인다.
- 토양을 호기상태로 유지하는 SRI 재배기술은 쌀 증산과 관개용수의 절감효과뿐만 아니라 담수재배 논에서 많이 발생하는 온실가스(메탄가스)의 저감에도 획기적인 기여를 하기 때문에 외국에서 SRI 기술은 친환경 녹색성장 기술로 추진되고 있다. 2015년 온실가스 의무감축이 예상되는 우리나라에서도 농업분야의

온실가스 감축에 SRI 기술이 획기적으로 기여할 수 있을 것으로 전망된다.

- 2009년 우리나라는 공적개발원조(ODA) 제공국가로 인정받았다. 우리나라의 대외원조는 2008년 약 8억 달러 수준에서 2015년에는 30억 달러까지 급속히 증가될 것으로 예상하고 있다. 이중 상당액은 저개발국가의 식량증산, 관개배수시설 확충, 음용수 공급, 하수의 위생처리, 농촌개발 분야에 제공될 예정이다. 이 과정에서 SRI는 중요한 역할을 할 수 있으며 이에 따른 관개용수원 개발과 용배수 시설의 설계 및 유지관리에 SRI 원리의 적용이 반드시 필요하다. 따라서 우리나라에서도 SRI 재배기술을 적용하여 국제사회에서 요구하는 기술을 제공할 수 있는 준비를 할 필요가 있다.

1.2 연구목표 및 내용

1.2.1 최종 연구목표

본 연구는 SRI 국내도입을 위한 시험포를 설치하고 운영하여 SRI 재배방식에 따른 농업용수 절감량과 쌀 수확량을 비교·분석을 통해 SRI의 적용가능성을 평가하고, SRI 재배기술의 도입을 위한 표준영농기술을 정립하여 마련하는데 최종 목표가 있다.

이러한 최종 목표를 달성하기 위해 관행적인 벼재배와 SRI 벼재배원리를 적용한 시험포를 설치하고 관개량, 토양함수비, 벼생육상태, 벼 생산량 등을 연차별로 측정하고 비교하여 우리나라에서 SRI 벼재배방법의 적용가능성을 평가하고자 한다. 또한 SRI 벼재배방법의 기술습득, 연구자료와 경험을 통한 재배기술 안내서의 작성 등을 통하여 우리나라에서 SRI 재배에 필요한 재배요령 개발 및 정책에 반영하고자 한다. 연차별 연구 목표 및 내용은 표 1-2-1과 같다.

(표 1-2-1) 단계별 연구 목표 및 내용

구분	연구목표	연구내용 및 범위
1차년도 (2010)	SRI 재배기술 의 적용성 검 토	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 연구자료 수집 및 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 국내외 벼재배기술 동향 및 SRI 사례조사 ◦ SRI 시험포 설계 및 운영(I) <ul style="list-style-type: none"> - 관행 및 SRI 시험포 설계 및 조성 (관행 2개 & SRI 6개, 5×15 m) - 포장준비 및 계측시설 설치 - 파종 및 모내기 ◦ 작물생육모니터링 및 수확량 조사 ◦ 논 비점오염부하 산정
2차년도 (2011)	SRI 재배기술 정립	<ul style="list-style-type: none"> ◦ SRI 시험포 설계 및 운영(II) <ul style="list-style-type: none"> - 시험포 측정시설 유지 및 보수 - 관행 및 SRI 벼재배 (종자준비 및 파종, 이앙등) ◦ 작물생육 모니터링 및 수확량 조사 ◦ SRI 표준영농교본 분석(안)
3차년도 (2012)	SRI 재배기술 의 효과분석	<ul style="list-style-type: none"> ◦ SRI 시험포 설계 및 운영 (III) ◦ 작물생육 모니터링 및 수확량 조사 ◦ SRI 재배요령 기술

1.2.2 당해연도 연구 목표 및 내용

당해연도(2차년도)의 연구목표는 SRI 국내도입을 위한 시험포를 설치하고 운영하여, SRI 재배방식에 따른 관개용수 절감량과 쌀 수확량 비교·분석을 통해 SRI 적용가능성을 평가함은 물론 SRI 벼재배기술 도입을 위한 표준영농교본 지침서(안)를 작성하는데 있다. 구체적인 연구내용은 표 1-2-2와 같다.

(표 1-2-2) 당해연도 연구내용 및 방법

구 분	연구내용	연구방법
2 차 년 도 (2011)	자료수집	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 포트과종기 및 이양기를 이용한 벼재배지(여주)를 견학하고 포트재배에 필요한 정보와 재배기술 습득
	시험포 설계 및 운영	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 포장준비: 1차년도와 동일한 크기의(5×15 m) 시험포 8개 조성 ◦ 계측시설 설치: 수위계, 수도계량기, 플룸 및 AWS 등 ◦ 실험처리: 대조구(관행, 화학비료), SRI 재배(화학비료). 모의 재배품종으로 오대벼 사용. SRI의 경우 생산성 증대를 위해 포트재배한 모를 1개씩 이양하는 방법 뿐만아니라 포기당 2-3주를 이양하는 방법 적용 ◦ 시험포 관리, 인력 및 장비의 확보: 시험포의 경운, 썩레질 모재배, 이양, 제초, 시비, 수확, 탈곡, 도정 등 영농관리는 전문인력을 장기적으로 고용하여 활용 ◦ 담수 재배하는 관행시험포는 시험포 지역의 논물관리 관행에 따라 관개용수공급, SRI는 SRI 원칙에 의거하여 물관리 실시 ◦ 각 시험포의 논두렁 횡침투소비량을 최소화 할 수 있도록 시험포장을 재정비하여 정확한 관개용수 사용량 산정 ◦ 관개량, 강우량, 유출량, 시비량, 농약사용량, 토양함수비, 토양의 유기물함량, 교환성양이온, 중금속, 영농관리에 필요한 노동시간, 수질항목(SS, BOD 등)등을 모니터링하고 측정함
	작물생육 모니터링 및 수확량 조사	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 대조구와 실험처리구의 벼씨 소독부터 파종, 모의재배 방법과 성장, 관개용수 사용량, 이양방법, 이양 후 시기별로 벼의 성장(분얼수 및 벼크기), 이삭의 규모, 수확, 건조, 도정 등의 제반과정에서 나타나는 현상을 정밀히 기록하고 모니터링 함 ◦ 수확량 조사: 처리구별 50주씩 수확하여 탈곡 후 칭량하여 ha당 수량으로 환산함(수분함량 15% 이하) ◦ 벼의 생육 및 수량성 분석을 위해 주당수수, 수당립수 및 등숙비율등을 측정 ◦ 쌀의 품질 및 식미평가
표준영농 교본 분석(안)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 국내 SRI 벼재배 도입을 위한 표준재배지침을 작성하고 보급할 수 있도록 외국의 SRI 재배방법을 조사 및 분석 ◦ 파종, 시비, 제초 및 기타 영농관리를 위한 방법을 정밀히 분석하여 이를 토대로 SRI 재배를 위한 표준영농교본(안) 기술 	

1.3 기대효과

1.3.1 정책적·기술적 측면

토양을 호기상태로 유지하는 SRI 재배기술은 쌀 증산과 관개용수의 절감효과뿐만 아니라 담수재배 논에서 많이 발생하는 온실가스(메탄가스)의 저감에도 획기적인 기여를 하기 때문에 외국에서 SRI 기술은 친환경 녹색성장 기술로 추진되고 있다.

따라서 2015년 온실가스 의무감축이 예상되는 우리나라에서도 농업분야의 온실가스 감축에 SRI 기술이 획기적으로 기여할 수 있을 것으로 전망되며, 장래 용수수요 전망 등의 연구결과에 따라 물부족이 예상되고 있기 때문에 관개용수 저감 문제에 대한 해결책을 제시할 수 있는 기술로 농업분야 전반에 큰 기술적 파급효과를 가질 것으로 예상된다.

그리고 SRI 벼재배 방법의 기술습득, 연구자료와 경험을 통한 재배기술 안내서의 작성 등을 통하여 우리나라에서 SRI 벼재배에 필요한 재배요령 개발 및 정책 반영 시 크게 기여할 수 있을 것으로 사료된다. 이러한 과정을 통해 용수부족에 대비, 동남아시아, 중국 등 40개 국가에서 시행중인 용수절약과 쌀 증산기술로 인정받고 있는 SRI의 국내 도입이 가능할 것으로 판단된다.

1.3.2 경제·산업적 측면

SRI의 도입에 따른 경제적 효과는 50%이상의 생산성 제고, 용수공급량의 25~50% 절감, 농민소득 50~100%증가 등으로 현저하게 나타나고 있으며, 환경적으로 유리하다. 또한 비담수 재배인 SRI 방법으로 절약되는 용수의 활용, 용배수 기반시설의 유지 관리기술의 전환에 필요한 다양한 기술의 개발과 발전으로 인해 관련 분야와 산업계의 참여를 유발하고 기술개발 동기를 부여함으로써 해당분야의 기술인력 확보와 국가 기술력 재고에 크게 기여할 수 있을 것으로 보인다.

SRI 재배기술이 성공하면 쌀의 생산량 증가로 인한 농지의 대체이용 증가, 사료작물의 수입대체 등의 효과를 기대할 수 있으며, SRI를 적용하는 후진국의 농업발전에 필요한 다양한 기술을 ODA 원조로 실현하며 기술의 수출과 산업의 발전도 기대

할 수 있을 것으로 보인다. 그리고 SRI 벼재배 기술이 쌀의 증산과 관개용수의 절약을 유도할 수 있다면 SRI 벼재배에 필요한 이앙기와 제초기의 개발이 필요하다. 따라서 새로운 농업기계 개발을 위한 당위성을 제공하고 산업발전에 기여할 수 있다. 기존에 사용하던 벼의 답수재배에서 비답수 재배로 전환될 수 있다면 농촌지역의 영농활동뿐만 아니라 사회문화적으로도 많은 영향을 미칠 것으로 판단되며, 대체 효과가 가시적인 경제적 효과이외에도 눈에 보이지 않는 사회적, 산업적 비용 절감 등의 효과도 기대할 수 있을 것으로 예상된다.

제 2 장

SRI 베팅배 기술현황



한국농어촌공사 농어촌연구원

강원대학교

제2장 SRI 벼재배 기술현황

2.1 SRI 벼재배 적용사례

2.1.1 중국

가. Sichuan Province와 Zhejiang Province의 SRI 사례조사

중국 Sichuan Province와 Zhejiang Province의 SRI 사례조사는 미국 코넬대학교 Norman Uphoff 교수가 Sichuan Province와 Zhejiang Province의 논농업지대를 방문하고 조사한 기록을 정리하였다(www.ciifad.cornell.edu/sri/countries/china/cnntutrep0807.pdf).

1) 방문 결과

중국의 농무부는 SRI를 최고의 쌀생산 기술로 인정하고 농민에게 전파하기 위한 최선의 노력을 경주하고 있다. 중국의 SRI 기술은 매우 빠르게 보급되고 있다. Sichuan과 Zhejiang 등 두 개의 성에서 2007년 현재 230,000 ha에서 재배되고 있다. 그리고 SRI의 전파속도는 더욱 빠르게 진행될 것으로 예측된다. 두 성의 농업기술자는 하이브리드 벼에서 더 높은 SRI의 효과가 나타나는 것으로 연구되었기 때문에 하이브리드 종자를 중심으로 SRI 재배를 권장하고 있다.

SRI는 볍씨의 절약, 물 사용량의 절감, 병충해와 도복 저항성 증대, 생산량 증대 등으로 농민에게 노동력과 생산비 저감효과를 가져온다. SRI는 노동력이 많이 소요되는 소규모 영세농가에 적합하다고 주장하는 사람들이 많다. 그러나 SRI는 영농규모와는 관계가 없다. Zhejiang성의 어느 지역에서는 기업규모의 대규모 농업에 SRI가 선택되고 있으며 전체 논 면적의 80%에서 SRI 재배를 시행하고 있다. 이는 SRI가 노동력을 더 많이 필요로 하는 것이 아니라 오히려 노동력을 저감할 수 있다는 증거를 보여주는 사례이다.

중국 농민과 연구자들은 SRI의 효과를 극대화하기 위한 노력을 다 하지 않고 있다. 그들은 기존의 관행영농을 중심으로 SRI를 시도하고 있기 때문에 SRI로 성취할

수 있는 증산효과를 충분히 보지 못하고 있다. 예를 들면 화학비료와 제초제의 사용대신 유기비료를 많이 사용하고 토양의 통기성을 증대시키기 위한 기계적인 제초 작업을 수행한다면 쌀 생산량의 증가분이 이들 재료와 작업에 필요한 경비를 상쇄하고도 남을 것으로 예측된다.

중국에서 SRI의 발전여부는 경제성, 가용노동력의 규모, 유기비료 자원의 가용성 그리고 농민의 태도 등과 같은 영향인자에 따라 달라질 수 있다. 이 중에서도 농민이 SRI를 바라보는 생각과 선입감이 매우 중요할 수 있기 때문에 SRI의 개발과 보급에 이들 인자를 잘 반영할 수 있어야 한다. 그래서 농민들이 저항없이 SRI를 수용할 수 있는 조건을 잘 만들 필요가 있다.

2) Sichuan 성의 SRI 연구와 보급사례

가) Sichuan 성의 SRI 연구와 담당부서

- ① Crop Cultivation Research Center in the Crop Research Institute of the Sichuan Academy of Agricultural Sciences (SAAS)
 - 센터장(Director): Zheng Jianguo 교수
- ② Provincial Department of Agriculture (PDA)
 - 담당자: Liu Daiyin (중국에 SRI를 도입한 최초의 5인중 1명)

나) Guanghan과 Bai Li 지역의 SRI

- ① 위치: Guanghan은 Chengdu에서 북서쪽으로 자동차로 1시간 Bai Li에는 SAAS의 연구농장이 위치함
- ② SRI 연구현황
 - 농민들의 관행농업과 비교하며 다양한 벼 품종에 대한 SRI 실험연구가 진행
 - SRI 원칙은 포기당 간격을 넓게 하며 1주의 어린 모를 이앙하는 것을 추천하고 있으나, 이 지역에서는 포기당 3주를 8~10 cm 간격으로 삼각형 모양으로 이앙함. 이와 같이 이앙

하면 단위면적당 포기수는 50% 정도 감소하나 모의 숫자(밀도)는 50%가 증가함. 모와 모 사이가 충분히 넓으므로 통풍 및 일조량이 많아 분얼이 많고 잘 자람. 2001년에 이 방법은 16 톤/ha의 매우 높은 생산성을 보였고 이로 인해 인근 지역의 농민과 성 정부 농림부서의 폭발적인 관심을 끌게 되었음

- 직파재배 시험포를 볼 수 있으며, 직파재배는 생산성의 증대가 아닌 노동력의 절감을 위해 충분히 가능할 수 있을 것으로 판단하였음

③ Bai Li 지역의 생산성과 자문내용

- 관행재배의 생산성: 9 t/ha (매우 높은 생산성을 달성하는 지역임)
- SRI의 생산성: 10.5 t/ha
- SRI 재배의 미비점: 화학비료와 제초제를 사용하고 있으며, 토양의 통기성을 증진시키기 위한 기계적인 제초작업이 없음. 또한 유기비료의 사용량이 매우 작음
- 자문내용: 네팔과 마다가스카르에서는 토양의 통기성을 높일 수 있는 기계제초를 시행했을 때 2~3 t/ha의 증수효과가 있는 것으로 나타났음. 따라서 이 지역에서도 기계제초를 하고 유기비료의 사용량을 증가시키면 벼의 증수효과를 기대할 수 있음. 이와 같이 증수가 가능하다면 유기비료와 기계제초에 소비되는 인건비 이상의 소득을 올릴 수 있을 것으로 예측함

④ 벼와 다른 작물의 윤작(rotation)

- 이 지역에서는 벼와 감자, 밀, 벼섯, 유채 등을 번갈아 가며 재배하고 있음
- 벼와 감자를 순환재배하는 것이 좋은 것으로 나타나고 있음

- 2모작이 가능한 따듯한 지역이라 윤작이 가능하지만 우리나라는 어려울 수 있음

⑤ 농약의 사용

- 이 지역 농민들은 병충해와 제초를 위해 약 3회의 농약을 살포함. 그러나 3회 이상의 살포는 거의 없음
- 농약의 사용은 편하고 경제적이기는 하나 생산성의 증대에는 부정적임. 장기적으로 유기비료를 많이 사용하면 작물의 튼튼해지고 병충해 저항성이 커져서 농약의 사용량이 상대적으로 작아지나 이는 장기간의 적응기간이 필요함. 따라서 농민을 설득하기가 쉽지 않음

다) Bai Li 인근지역(지역명칭 없음)의 SRI 생산성

- ① 관행재배: 7 t/ha
- ② SRI: 10 t/ha

라) Pengzhou 시 인근지역의 SRI

- ① 모의 재배: 답수재배가 아닌 비답수재배로 모를 생산하고 있음
- ② 모의 이랑간격: 35 × 40 cm로 매우 넓음
- ③ 비료 사용: 화학비료를 주로 사용하나 사용량은 점차 감소하고 있음
- ④ SRI 생산성: 이 지역은 2006년도에 Chengdu 평원에서 가장 높은 평균 11.82 t/ha의 생산성을 올렸음. 2007년에는 조생종 벼를 심었기 때문에 생산성은 10.8 t/ha로 예상함. 토양의 비옥도가 좋으면 이랑간격이 넓어도 생산성에는 영향이 없음을 증명하는 것임. 토양의 비옥도는 유기비료의 사용이 많아 토양의 유기물함량이 높아질 때 함께 높아짐

마) Xinjin city와 Quiong Lai city 지역의 SRI

- ① 위치: Chengdu시에서 남쪽으로 1시간
- ② SRI 연구: SAAS의 지원을 받고 있는 Chengdu Modern Agricultural Technological Innovation Center에서 2007년 현재 2년째 SRI를 시범재배하고 있음
- ③ 지역의 생산성: 벼와 SRI 재배가 잘 조합되고 있음. SRI의 생산성은 11.67~13.3 t/ha로 매우 높게 보고되었음
- ④ 영농의 특징: 이 지역은 농촌의 잉여농지와 고령자의 농지를 위탁받아 대규모의 기업영농이 이루어지는 지역임. SRI와 벼의 순환재배로 기업의 경쟁력을 확보할 수 있는 지역임

바) Sichuan 성의 SRI 연구결과

- ① SRI 실험연구의 진화
 - 2001: Sichuan Agricultural University(SAU)에서 5명의 연구자가 최초의 SRI 실험 수행 시작. 이들은 코넬 대학의 Uphoff 교수가 발표한 SRI의 원칙에 관한 논문을 중국어로 번역한 자료를 보고 SRI 재배시도를 하였음
 - 2002~2005: SRI의 재배시도에서 상당한 성공을 보이자 SAU, SAAS, PDA 및 Provincial Department of Science and Technology (PDST)가 공동으로 참여하는 조직적이고 광범위한 SRI 실험연구가 시작되었음
 - 2005 이후: 그 동안의 연구성과를 바탕으로 보다 적극적인 SRI 연구가 지역특색에 맞게 진행되고 있음
- ② 연구의 평가내용: 벼농사에서 중요한 물관리, 모 재배 및 이앙 방법, 시비방법, 잡초제어 등에 관해 집중적인 평가를 하였음
- ③ 연구에서 도출된 SRI의 핵심영향인자

- SRI 성공을 위한 5개의 핵심영향인자로 어린모를 가능한 빨리 이앙할 것, 이앙밀도를 작게 할 것, 뿌리의 건강한 발육을 위해 관개량을 줄일 것, 무효분얼을 줄이기 위한 적절한 물관리의 수행, 화학비료와 유기비료를 복합적으로 사용하는 적절한 비료의 사용 등으로 구분하였음
- Sichuan 성의 모든 농업지대에서 SRI는 적용이 가능하다는 결론을 내렸음. 그러나 지역적으로 온도의 영향을 배제하기 위한 모의 재배와 이앙시기에 대해서는 적절한 적응대책이 필요함
- SRI는 하이브리드 범씨에 특히 적합한 방법으로 구명됨

④ 모의 재배와 이앙방법

- 모의 재배는 플라스틱 육묘상자를 이용하여 비담수 재배하는 것이 가장 효과적인 것으로 구명됨. 육묘상자를 이용하면 범씨의 사용량이 작고 또한 운반에도 편리함
- 논의 준비는 관행재배와 동일함. 다만 SRI는 물관리의 편의와 토양통기를 돕기 위해 일정한 간격마다 고랑을 만들어 줄 수 있음. 고랑을 내주는 것은 두둑을 만드는 것과 동일한 효과를 보임
- 직파재배와 무경운 SRI 재배실험이 수행되고 있음. 이는 생산량의 증대가 아닌 노동력의 절감을 위한 대안으로 실험되고 있음. 무경운 재배는 토양의 물리, 생물 및 화학적 특성 개선에도 도움을 받을 수 있음
- 모가 2.5~4엽 정도 성장했을 때 이앙하는 것이 좋음. 그러나 윤작으로 이앙시기가 늦어질 때는 4~5엽 정도에 이앙도 가능함
- 이앙간격은 25 × 30 cm에서 50 × 50 cm까지 가능함. 지력

이 좋은 논은 이앙간격이 넓을수록 생산성이 좋아짐

- 1포기 3주를 8~10 cm 간격으로 삼각형 형태로 이앙하는 방법이 많은 지역에서 효과적으로 검증되고 있음. 단위면적당 벼의 포기수는 줄어도 모의 밀도는 50% 정도 증가되기 때문에 전반적으로 생산성이 향상됨. 삼각형 형태의 이앙뿐만 아니라 정사각형 혹은 직사각형 모양의 이앙도 지역과 필요에 따라 시도되고 있음
- 어린 모의 이앙은 가뭄이나 이상고온 등으로 인한 환경영향을 최소화하는데 도움을 줌. Sichuan 성은 2006년에 심한 가뭄이 있었으나 SRI 재배구는 관행재배지보다 평균 0.75 t/ha의 증수효과를 보았음

⑤ 물관리 방법

- 이앙 후 초기단계에서는 간단관개의 시행. 간단관개시에는 물을 매우 얇게 대줌
- 유수형성기(panicle initiation) 이후의 중간단계에서는 2 cm의 수심이 유지될 수 있도록 연속관개를 시행함
- 벼의 분얼숫자(number of tillers)가 2.25~2.7 million/ha에 도달하면 연속관개를 중단하고 완전히 배수를 해 주어 무효분얼을 억제함
- Sichuan 농업지대에서 SRI는 관행농업에 비해 20~40%의 관개용수 저감을 이루고 있음
- Sichuan 지역의 SRI는 동남아 등 다른 지역의 SRI와 물관리면에서 다소 차이가 있음. 이앙 후 다른 지역은 토양(논)에 수분만 공급할 정도, 즉 벼가 물부족으로 스트레스를 받지 않을 정도로만 관개용수를 공급했다 중단하는 간단관개를 사용함. 그러나 Sichuan 지역의 SRI는 논 바닥이 물

에 겨우 잠기는 수준(논바닥의 일부는 노출, 그리고 일부는 담수)으로 간단관개를 하여 동남아의 다른 지역보다는 다소 많은 관개용수를 공급하는 것 같음

⑥ 잡초제어

- 잡초제어는 인력이나 제초제를 사용하여 벼재배기간 동안 2~3회 시행함
- 농민들은 거의 대부분 제초제를 사용하여 잡초를 제어하고 있음
- 병충해 방제는 가능한 통합병충해 관리방법(IPM)을 사용할 것을 권장함

⑦ 연구결과의 정책반영

- 성공적인 SRI 실험연구로 SRI 재배면적이 획기적으로 증가하고 있음. 다음 표는 중국 Sichuan 성에서 SRI 재배면적의 증가와 생산성을 보여주고 있음(표 2-1-1)
- 2006년에는 심한 가뭄이 있었으나 SRI 재배는 관행지역에 비해 상대적으로 생산성이 높았음
- 2006년 12월 Sichuan 성의 PDA는 SRI 실험결과를 중앙정부의 원자바오 수상에게 보고하고 핵심 농업기술로 인정받았음. 따라서 SRI는 중국 중앙정부의 핵심농업기술로 채택되어 전국적인 보급에 나설 수 있게 되었음

(표 2-1-1) 중국 Sichuan 성에서의 년도별 SRI 재배면적 및 생산성 변화

연도	광역시	시군	면적(ha)	평균생산(t/ha)
2004	15	26	1,120	9.10
2005	15	58	7,290	9.44
2006	18	80	57,500	8.82

⑧ Sichuan과 다른 나라 SRI의 차이점

- Sichuan 성과 다른 나라(동남아, 인도 등) 사이의 SRI 관리방법의 차이점은 토양통기를 위한 기계적 제초작업이 상대적으로 작고 유기비료의 사용량이 매우 낮다는 점임
- 인건비와 유기재료의 부족으로 기계적 제초작업과 유기퇴비의 생산, 운반 및 살포의 어려움이 있을 수 있음. 그러나 기계제초의 시행과 유기비료의 사용량을 늘린다면 쌀의 증산으로 이들 가격을 상쇄하고 남을 수 있을 것을 전망

⑨ 향후 연구과제: 토양통기성, 토양유기물함량 등이 뿌리의 발육에 미치는 영향을 구명하여 과학적인 토양관리와 재배관리가 이루어질 수 있도록 해야 함

사) Meishan 지역의 SRI

① 위치: Chengdu에서 서쪽으로 자동차로 약 1 시간

② 동행자: Professor Ma Jun from the rice research institute of Sichuan Agricultural University, Mr. Liu Zhibin from Professor Yuan Longping's Seed Multiplication Farm in Meishan. Ma, Yuan, Liu 등은 중국에서 SRI를 최초로 시도한 연구자 5인중의 3인임

③ 연구결과

- Liu는 SRI 쌀의 단백질 함량이 16%로 관행 쌀의 거의 2배에 달하며, 이는 SRI의 매우 중요한 장점이 될 수 있음
- 화학비료와 유기비료(60% 이상)를 충분히 사용하면 SRI 생산량이 15 t/ha에 달한다고 함 (비료사용량 N 450, P 320, K 450 kg/ha, 그러나 이는 SRI에서 추구하는 시비량보다 월등히 많은 시비량임)
- 유기비료를 충분히 시비하며 토양을 관리하면 유효분얼이

90%에 이른다고 함. 즉, 분얼숫자의 90%는 벼 이삭을 생산하므로 무효분얼이 최소화되며 생산량이 증대된다고 함

- 지표피복재(필름)에 볍씨를 삼각형 이앙형태로 고정된 후 직파재배의 효과를 측정하기 위한 연구를 추진중(2007년)
- 이는 한국에서도 충분히 시도해 볼 수 있음. 모내기할 때 종이피복재로 논바닥을 덮으며 모를 이앙하기도 함. 모를 이앙하는 대신 일정한 간격으로 볍씨를 피복재에 고정된 후 씨레질이 끝난 논에 피복하면 잡초의 발생을 최소화하면서도 Liu가 시도하는 직파재배와 같은 형식이 될 것임
- Liu는 삼각형 이앙방법을 처음으로 도입하여 16 t/ha의 생산량을 기록하여 SRI가 관심을 끌게 한 주인공임

④ Meishan 주변지역 마을의 SRI

- 마을 1(Tai He): 마을 전체가 SRI 실험을 하듯 실험처리에 관한 포스터가 걸려있음. 모의 재배기간 (14, 30, 40일), 무경운 재배와 관행재배, 이앙간격(20×25 cm에서 40×45 cm), 잡초제어를 위한 볍씨피복, 비료의 종류와 사용량, 물관리 방법, 잡초와 병해충 관리방법, 볍씨의 종류에 따른 생산량 비교 등은 마을이 Sichuan Agricultural University 전문가와 협력하며 실험을 하는 것 같았음. 이들은 자신의 마을에서 가장 적합한 SRI 재배방법을 개발하여 생산목표 12 t/ha를 달성하기 위하여 대학전문가의 도움을 받으며 공동으로 노력하는 것임
- 마을 2(Yue Xin): SRI 재배지의 질소비료는 180 kg/ha를 사용하고 있음. 그러나 이앙 후 초기의 물관리가 부실(토양의 통기성을 충분히 확보하지 못함)하여 벼의 뿌리가 충분히 성장하지 못한 것으로 판단됨. 이와 같은 이유로 폭풍우시 도복된 벼가 도복된 논이 많았음. 그러나 Liu가 관리

하는 이앙 후 물관리가 잘된 논은 벼의 도복율이 1% 미만으로 잘 성장하였음

- 마을 3: 윤작재배로 인하여 이앙할 때 모의 재배일수가 일부는 7일의 어린 모, 그리고 다른 일부는 40일이 지난 숙성모이었음. 그러나 일정한 시간이 지난 후 벼의 생육상태는 어린모와 숙성모 사이에서 별다른 차이를 보이지 않았음. 이는 SRI에서 주장하는 어린모 이앙원칙이 벼 생산에 생각하는 것 만큼 큰 영향이 없을 수도 있다는 생각을 하게 되었음

3) Zhejiang(저장) 성의 SRI 연구와 보급사례

가) Zhejiang 성의 SRI 연구와 담당부서

- ① China National Rice Research Institute (CNRRI) in Hangzhou
 - 담당자: Dr. Zhu Defeng
- ② Zhejiang 성은 상하이시 남서쪽으로 인접하고 있는 농업지대이면서도 현재는 급속히 산업화되고 있는 지역임

나) 저장성 Tian Tai County의 예

- ① Mr. Nie Fuqu의 예: 2005년에 3회의 태풍이 있었는데도 그의 SRI 논에서는 11.38 t/ha의 수확이 가능했음. 반면에 관행논은 태풍으로 벼가 도복되어 거의 수확을 할 수 없었음. 이는 대표적인 사례이나 일반화되기는 어려울 것 같음
- ② Mr. Nie의 예: SRI 원칙을 준수하며 직파재배를 하고 있음. 무경운 직파재배로도 10 t/ha의 높은 수확을 기대하고 있음. Mr. Nie는 농민이지만 SRI의 원칙을 충분히 이해하고 이를 응용하여 노동력을 최소화할 수 있는 자신만의 독특한 SRI 재배방법을 개발하며 실험하는 농민임

다) CNRRI의 연구결과

- ① 질소비료의 시비량 120~210 kg/ha 범위에서 실험에 사용한 벼의 재식밀도가 작을수록 많은 수확량이 있었음. 이는 벼의 품종에 관계없이 물관리와 재배관리로 많은 생산성 향상을 이룰 수 있음을 보여줌
- ② CNRRI의 연구결과 일반 벼보다는 하이브리드 벼 품종에서 SRI의 생산성이 좋아진다는 것을 확인하였음
- ③ Zhejiang 성의 SRI는 SRI 일반원칙을 따르지 않은 두 가지 점이 있음. 하나는 토양통기가 이루어질 수 있도록 기계제초를 해 주지 않는다는 것(제초제를 사용하여 제초함)이고 다른 하나는 유기비료의 사용량이 매우 작다는 점임
- ④ 유기비료의 사용이 많이 토양이 비옥하면 벼 재식밀도가 낮을수록 수확량이 많았음
- ⑤ 1년에 1모작 벼재배의 경우 120,000 plant/ha의 재식밀도에서 가장 높은 수확이 가능하였음
- ⑥ 1년에 2모작 재배(벼+밀, 야채, 감자)의 경우 210,000~240,000 plants/ha의 밀도에서 높은 수확량이 있었음
- ⑦ 여러 가지 벼 품종 중 벼 이삭이 중간정도 크기의 품종은 1.5~2 plant/포기, 즉 하나의 모보다 1.5~2개의 모를 이양하는 것이 수확이 더 많을 수 있었음
- ⑧ 태양일사의 강도가 낮은 곳에서는 이양간격이 넓은 것이 생산성이 높았음. 즉, 햇빛이 강한 지역에서는 이양간격이 다소 좁아도 생산성이 높게 나왔음
- ⑨ SRI 논토양은 관행 논토양보다 방선균(actinomycetes, gram-positive 박테리아) 밀도가 높았음. 방선균은 생물저항성(antibiotic)이 높아 벼의 엽초(논바닥 부근의 잎, sheath) 고

사를 방지하는 기능이 매우 높음. 벼 잎의 고사는 중요한 벼 질병의 하나임. 또한 엽초는 벼의 가지치기와도 밀접한 관계가 있음. SRI의 시행이 토양의 생물상 변화와 어떤 관계가 있고 생물상의 변화와 벼 생산성의 관계를 지속적으로 연구해야 할 필요가 있음. 베트남의 실험결과 SRI 논에서는 봄에 63.0% 그리고 여름에 73.7%의 벼잎고사 저감효과가 있었음

- ⑩ CNRRI는 벼 성장단계별 물부족(water stress)와 생산량과의 관계를 연구하고 있었음. 즉, 수잉기(panicle initiation)와 출수기(intial heading)의 물부족과 생산성의 관계 등을 2007년에 연구하고 있었음
- ⑪ 많은 농부들은 노동력 절감을 위해 직파재배를 시도하고 있음. 따라서 일정한 거리마다 이앙하는 것처럼 벼의 간격이 일정하지 않음. 또한 제초제로 제초를 하므로 기계적인 제초작업으로 토양통기를 개선하기 위한 노력이 없음
- ⑫ 이 지역의 농민들은 물 사용량을 많이 줄이고, 유기물의 사용량을 증대시키고 있음. 유기물은 축산분뇨, 농업잔사(벼짚 등), 하수구와 저수지 퇴적물(muck) 등을 사용함

라) Wang Dien Village의 농부 Gan Young Pei의 SRI 사례

- ① 위치와 동행자: Xiu Zhou Country, Jia Xing District로 Hangzhou 시에서 북쪽으로 한 시간 이상에 위치, Lin Xiaqing, Gao Song Lin(Xiu Zhou country의 Technology Extention Center의 소장)
- ② Gan의 농장면적과 인부: 26 ha, 대부분의 농장은 도시노동자로 떠난 농민의 땅을 임대한 것임. 넓은 논과 밭을 주인과 고용인 1명 등 2명이 관리. 계절적으로 노동력이 필요할 때만 일용직 인부를 고용
- ③ 농장의 재배작물: 벼와 다양한 야채(Gan은 3년째 SRI 시도)

④ 벼 품종과 생산량

- Gan은 한국과 동일한 계열인 자포니카 벼를 재배하고 있음. 이 지역에서 일반적인 인디카 계열의 벼가 아님
- Jia Xing 지역의 자포니카 계열 벼의 생산량: 8.55 t/ha. 중국에서 가장 높은 생산성이 있는 지역임
- Gan의 2년 평균 생산량: 10.5 t/ha. 자포니카 벼도 관행에 비해 2 t/ha 증수효과가 있었음
- 노동력을 절감하기 위한 2006년의 직파실험재배에서 Gan은 11.84 t/ha의 생산성을 올렸음

⑤ Gan의 재배방법과 실험

- 벼의 재배밀도는 110,000 plants/ha (씨앗사용량 10.5 kg/ha)
- 모가 2엽일 때 이상. 대부분의 다른 농부보다 어린모 이앙
- 농민인 Gan은 1 ha에 102개의 시험포를 만들고 다양한 벼씨를 대상으로 실험을 하고 있었음(실험처리별 무작위 반복 실험 수행)
- 일부의 시험포에는 비료를 효과를 측정하기 위한 실험을 수행중이었음(2007년). 비료는 4개의 실험처리. (a)재래식 화학비료, (b)화학비료+분뇨, (c)화학비료+유기물(보리와 벧짚), (d)무비료 등. a, b, c 시험포에는 동일한 양의 N, P, K 화학비료 사용. 따라서 b와 c 시험포에는 분뇨와 유기물 양만큼 비료량이 많음

마) 기타 SRI 사례

① Jia Xing District 사례

- Jia Xing District에서는 직파재배와 SRI가 일반화되고 있

음. 직파재배는 이앙과 같이 벼 포기 사이가 일정한 간격으로 유지되지 않음. 볍씨를 뿌리는 상태에 따라 재식간격이 넓거나 좁게 됨. 직파재배시 농민들은 18.75 kg/ha (1.25 kg/mu)의 볍씨를 사용함. 일부 농민은 13.5 kg/ha (0.9 kg/mu)까지 볍씨를 줄이기도 함. Jia Xing District의 권장량은 1 kg/mu임. 직파재배와 함께 물사용량은 현저히 감소하고 반면에 유기물의 사용량은 증가하는 추세에 있음. 1 mu는 약 666 m² 혹은 약 202평에 해당함

- 우리나라에서도 논에 유기물 사용량을 증가시키고 이에 따른 토양의 물리, 화학 및 생물학적 특성이 시간에 따라 변화하는 양상과 논 관개용수 절약 그리고 생산성의 관계를 장기적으로 조사할 필요가 있음. 토양의 특성변화에 시간이 소요되기 때문에 최소 5년 정도의 중장기적인 연구가 필요함
- Jia Xing District에서는 SRI에 관한 정보를 2002년 4월에 처음으로 수집하였음. 그리고 Gao는 SRI 국제회의 논문을 2003년에 받아보고 2004년부터 SRI 시험재배를 시작하였음. Gao는 2004년에 312개 지점에서 625 mu의 시험포(각 2 mu 혹은 약 400평 규모, 1 ha는 15 mu임)를 설치하고 SRI 재배 실험 시작. 2004년 첫해의 수확량이 10 t/ha로 농민의 관심을 끌기에 충분했음. 2005년에는 3,800 mu의 SRI 시범재배 수행. 메뚜기의 발현으로 피해가 컸지만 9.25 t/ha의 수확량 달성. 2006년에는 농민들의 참여로 30,000 mu 이상으로 SRI 재배면적이 확대되었고 평균 수확량은 10.62 t/ha이었음. 2007년에는 80,000 mu 이상의 논에서 SRI 시행중임. 다른 지역에서도 비슷하게 SRI 재배면적이 증가되고 있음
- Jia Xing District에서는 벼수확량 12 t/ha를 최초로 달성

하는 농민에게 미화 100 달러의 상금을 주기로 했음. 마다가스카르에서는 국가적으로 단위면적당 생산량이 가장 많은 농민에게 미화 13,000달러를 상금으로 주고 있음. 모든 상금은 SRI 농민이 차지한다고 함. Jia Xing District의 상금은 크지 않지만 농민들을 설득하는데 좋은 결과가 있을 것으로 예상함

- ② You Che Gong township, Gu Tou 부락의 Zheng Zu Wu 농민사례
- 26 ha 이상의 대규모 영농을 하는 전업농민. 농지는 농촌을 떠나는 농민들의 땅을 임대한 것이 많음
 - 인건비 절약차원에서 SRI를 많이 채택하고 있음
 - 유채와 벼를 번갈아 재배하며 무경운 벼재배를 SRI 방법으로 추진하고 있음. 유채재배 후 논을 경운하지 않고 볍씨를 뿌림. 그리고 유채잔사로 덮어줌. 이는 잡초의 번식을 억제하고 토양수분을 보전하여 볍씨의 발아와 모의 성장에 도움을 줌. 따라서 이 방법은 점차 인기를 얻고 있음
 - Zheng이 직파재배로 재배하는 논은 일부는 벼의 성장이 좋지 않았음. 벼를 뽑아 뿌리를 조사했을 때 뿌리의 발육이 통상적인 SRI 벼보다 부진하였음. 논 주변을 조사결과 인근 농지에서 지하수의 이동이 많아 토양에 필요이상으로 수분이 많고 토양통기가 불량하여 벼 뿌리의 발육이 부실한 것으로 나타났음. 따라서 SRI 재배 논은 지표수를 통한 물관리뿐만 아니라 지하수로 유입되는 물을 차단할 수 있도록 배수시설을 잘 정비할 필요가 있음

2.1.2 북한

북한의 SRI 사례조사는 미국 코넬대학교의 SRI 관련 홈페이지에서 발췌하였다. 본 자료로 인용한 홈페이지는 <http://ciifad.cornell.edu/sri/countries/dprk>이다.

가. SRI 진행현황과 활동

북한에서 SRI를 농업기술로 검토하기 위한 기초적인 기술상담은 1998년 북한 농업과학원(Academy of Agricultural Sciences; AAS)의 소규모 대표단이 AFSC(American Friends Service Committee)의 지원으로 미국 코넬대학교를 방문하면서 시작되었다. 그리고 2005년에는 AAS의 과학자와 정부의 관료로 구성된 북한 대표단이 Asia Foundation의 지원으로 코넬대학을 방문하여 SRI 도입과 적용가능성에 대하여 긴 토론을 가졌다. 2008년에는 평양지역의 4개 협동농장에서 SRI 개념과 방법을 평가하기 위한 실험이 수행되었다.

이 실험을 주관한 농장들은 AFSC와 협조관계에 있는 북한의 농업과학원과 농업부의 직할농장이고 SRI 실험은 KSCWP (Korean Committee for Solidarity with World People)의 지원으로 이루어졌다. 이들 실험의 초점은 어린모와 넓은 이앙간격이 벼의 생육초기 성장상태에 미치는 영향을 조사하는 데 맞추어져 있었다. 이 실험에서는 추운 날씨, 척박한 토양, 노동력의 부족 그리고 농업투자의 어려움 등 북한의 농업조건을 배려할 수 있는 방법으로 수행되었다.

2008년 실험은 북한의 현지조건을 고려하여 제한적인 SRI 기술과 원칙을 적용하였지만 0.5~1.0 t/ha의 증수효과가 있다는 것을 보여주었다. 이와 같은 결과로 미루어볼 때, 북한의 기후와 농업조건을 배려한 SRI의 원리를 적용하면 더 높은 생산량 증가가 가능할 수 있다는 기대감을 줄 수 있었다. 2009년도에 이 들 농장은 250 ha의 면적에 여러 종류의 SRI 실험을 수행하였다. 2010년, 즉 금년에는 북한의 지역실정에 적합한 최적이앙간격을 조사하기 위한 실험이 수행되고 있다. 또한 북한 농업토양의 질 향상과 지속성에 초점을 둔 프로그램을 운영하며 북한의 협동농장과 협력관계에 있는 MCC(Mennonite Central Committee)도 2010년에 SRI 적용성을 평가하기 위한 실험을 수행할 것으로 예상되고 있다.

2010년 2월 말, 북한 AAS의 쌀 생산 전문가로 구성된 대표단은 중국 항조우(Hangzhou)에서 개최된 국제 SRI 워크샵에 참석하였다. 워크샵은 Sichuan, Hunan, Heilongjiang 그리고 Zhejiang 성의 과학자들이 SRI의 방법과 결과를 발표하고 토의하기 위하여 CNRRI(China National Rice Research Institute)가 주관하였다. 워크

샵을 후원하였던 Asia Foundation은 동아시아지역에서 이번 워크샵과 같은 기회를 통하여 보다 많은 정보를 교환하는 활동을 지원하기로 하였다. 2010년 4월에는 AFSC가 주관하여 북한 협동농장의 매니저들을 중국의 Sichuan 성 농업지역에 초청하여 중국농민들의 혁신적인 방법으로 지역의 기후, 토양, 노동력 부족 등 농업특성에 적합하도록 개발하고 있는 SRI 기술을 견학시켰다.

FAO의 평양사무소는 여러 해 동안 북한의 조건에서 SRI를 적용하는데 관심을 가지고 있다. 그리고 뉴질랜드-북한협회는 이 협회와 관계가 있는 협동농장에 SRI 기술에 관한 정보를 제공하고 있다. 인도네시아의 SRI 기술을 중심으로 ADRA에서 2004년에 제작된 SRI 교육훈련용 비디오를 한국어로 번역하여 북한에 제공하여 협동농장에서 SRI 기술을 보고 배울 수 있도록 하였다. 이 비디오의 영문 및 한글 번역본은 3개로 분할하여 현재는 YouTube(유튜브)에서 다운받아 볼 수 있게 서비스되고 있다.

나. 북한의 SRI 적용 사례

북한의 파트너와 협의를 통하여 AFSC는 일단계 SRI 벼재배 매뉴얼을 개발하였다. 일단계 매뉴얼은 모재배를 위한 법씨의 선택과 처리, 플라스틱 모판(tray)을 이용한 법씨의 발아와 모의 육성방법, 그리고 이앙방법을 중점적으로 설명하고 있다. 이 매뉴얼은 “논벼과중전반기단계의 계렬기술보급 - 벼종자 처리와 비닐판에서의 모키우기 및 모내기 기술”이라는 제목이며 1차년도 보고서의 부록으로 첨부하였다.

플라스틱 트레이를 이용하여 모를 육성하면 법씨의 사용량을 줄이고 또한 이앙시 편의성이 있어 협동농장의 채택가능성이 높다. 2단계 매뉴얼은 물관리방법을 중심으로 작성될 예정이다. AFSC는 또한 한국어로 SRI 재배방법에 관한 매뉴얼(illustrated manual)을 발행하였다. 2010년 2월 Hangzhou에서 개최된 SRI 워크샵에서 AFSC 대표자는 북한의 파트너가 수행한 SRI 실험에 관한 내용을 파워포인트 파일로 발표하였다. 이 발표는 북한의 4개 농장에서 수행한 SRI 시험포와 논, 그리고 이앙간격에 관한 사진 등을 소개하였다.

다. 북한의 SRI와 관련된 발표자료

1) 2009. Agricultural Technology Dissemination Handbook for the Initial Stages of Rice-Planting: Rice Seed Treatment, Raising Seedlings in Nursery Trays, and Transplanting. American Friends Service Committee D.P.R. Korean Agriculture Program. 9 p. (115 KB pdf)

2) 2009. Agricultural Technology Dissemination Handbook for the Initial Stages of Rice-Planting (Korean). American Friends Service Committee D.P.R. Korean Agriculture Program. 7 p. (487 KB pdf)

3) 동영상(Videos): 2009 (May 24). System of Rice Intensification. Korean Hangul Language version of the original SRI video by ADRA (an NGO in New Zealand) about SRI in Indonesia. (in three parts). Available on the the danafastforward channel on YouTube. Part I: 8:59 min.; Part II: 10:39 min.; Part III: 5:14 min.

4) 파워포인트 발표자료(PowerPoint Presentations): 2009. DPRK Agriculture Program: SRI Project in four local farms. PowerPoint presented by Wuna Reilly, China and DPRK Country Representative, American Friends Service Committee, at the Workshop on the System of Rice Intensification, Exchanging Experience in China, the Democratic People's Republic of Korea and Internationally, held February 28 - March 2, 2010, in Hangzhou, China.

2.2 SRI 벼재배 연구현황

SRI(System of Rice Intensification)는 Father Henri de Laulane에 의해 1980년부터 마다가스카르에서 발전되었으며, 용수절약 및 쌀 증산을 할 수 있는 새로운 벼재배 기술로 평가받고 있다. 2002년 SRI 첫 번째 국제회의에서 15개국으로부터 보고된 내용들에 따르면 SRI의 평균 쌀 산출량은 기존평균 쌀 산출량의 2배이며, 더 적은 관개수를 사용한다고 하였다(Stoop et al., 2002; Uphoff et al., 2002). 중국 절강대학의 Zhao 등(2010)은 관행과 SRI 벼재배 비교연구를 통해 쌀 수확량이 관행보다 SRI가 26.4% 더 높은 것으로 보고하였으며 관개용수 효율면에서도 194.9% 증

가하여 SRI가 기존의 관행 벼재배에 비해 용수절약 및 쌀 증산에 있어 더 효과적임을 증명하였다.

그리고 중국의 China National Hybrid Rice Research and Development Center (CNHRDC)에서 SRI 적용성 연구결과(2000년) 쌀 생산을 위한 관개용수가 65% 절감된 것으로 나타났으며, 또한 하이브리드 벼로 획득할 수 있는 최고 산출량보다 1~2 ton/ha 이상 획득이 가능한 것으로 나타났다. 이후 2001년 센터에서 SRI 방법으로 12.9 톤/ha의 생산량을 기록하였으며, 그 해에 Sichuan 에서 SRI 방법으로 자란 센터의 슈퍼-1 하이브리드벼는 여러 실험에서 16톤의 산출량을 나타내었다. 이는 Sichuan 농업부에 의해 확인된 것으로 동일한 하이브리드 및 기존 관행에 비해 35.6% 높은 양이다(Yuan, 2002). 2004년 중국 농업대학(CAU)에서 실시한 Sichuan의 SRI 방법 활용에 관한 평가에서 SRI 이용자의 수가 2003년 7명에서 이듬해 398명(농민 중 65%)이 된 Xinsheng 마을의 결과가 기록되었다.

2004년 농번기에 SRI를 이용한 농민의 경우 물 절약 비율이 43.2%로 나타났으며, 또한 물 사용 비용은 2002년 전통적인 경작 72.43 위안/mu에서 2004년 SRI 방법을 이용한 경우 39.76 위안/mu로 감소된 것으로 산정되었다. 이렇게 SRI로 빠르게 전환된 부분적인 원인은 물 스트레스를 받는 상황에서 SRI 산출량이 양호했기 때문이다. 2003년은 가뭄이 든 해로써, 이때 전통적인 방법에 의한 산출량이 1/4만큼 감소하여, 2002년 정상 상태일 때 6.06톤/ha 에서 가뭄이 든 해에는 4.47 톤/ha로 감소하였다. 하지만 SRI 방법을 이용한 농민들은 자신들의 산출량이 2003년에 10%만큼, 즉 6.60 톤/ha 증가한 것을 확인되었다. 이듬해, 보다 전형적인 수준의 물이 공급된 농번기에, 전통적인 방법으로 5.64톤/ha이 산출된 반면 SRI로는 7.61톤/ha이 생산된 것으로 나타났다(Li et al., 2005).

캄보디아에서는 임의로 선발한 400명의 SRI 이용자와 100명의 비-SRI 이용자를 조사한 결과(2004년, GTZ) SRI 벼재배를 적용한 경우 평균 산출량은 비-SRI 이용자에 비해 41%, 경제 수익/ha은 74% 높게 나타난 것으로 조사되었다(Anthofer et al., 2004).

동부 인도네시아에서 일본의 기금 지원을 받는 소규모 개관 경영 프로젝트를 관

리하는 니폰 코에이 기술 지원 팀에서는 2003년에 1.6 ha에서 농민들을 대상으로 SRI 실험을 시작하였다. 2005년 말 1,849회의 농업 비교 실험이 363 ha에서 실시되었으며, 표준 방법을 이용했을 때의 산출량은 3.92 톤/ha 인 것에 비해 SRI 산출량은 평균 7.23 톤/ha으로써 84%가 증가한 것으로 나타났다. 그리고 연구를 통해 SRI의 물절약 수준이 40%가 될 것으로 계산하였으며, 경제 분석을 통한 생산 비용은 25% 이상 감소했고 특히 그 이유는 낮은 비료 적용(50% 절감) 때문인 것으로 나타났다(Sato., 2006).

필리핀 네그로스 옥시덴탈주에 있는 세 지역사회의 National Irrigation Administration(NIA)에서 지원하는 2003년 농민 WeId 학교에서 실시된 SRI 평가에서, SRI 방법으로 물 사용량을 67%까지 줄일 수 있다고 하였다(Lazaro et al., 2004). 이와 동시에 이들의 SRI 산출량인 7.33 톤/ha은 비료를 활용하고 보다 많은 물을 이용하는 ‘현대’ 쌀 생산 시스템(TQPM)으로 생산된 3.66톤/ha 보다 2배 이상이었으며, 표준 농민 방식으로 획득된 2.65톤/ha보다는 거의 세배 높은 값을 나타내었다. SRI 생산을 통한 순수익/ha은 25,054 페소였으며, 이는 TQPM을 통한 11,130 페소/ha보다는 2배 이상, 표준 농민 방식을 통한 7,592 페소/ha보다는 세배 이상 높은 값이다.

스리랑카에서 2002년 IWMI에 의해 실시된 SRI 방법에 대한 평가로부터 물절약 잠재성이 나타났으며, IWMI 연구원 팀에서는 두 구역에서 임의로 선발한, SRI 방법을 이용하는 60명의 농민과 이용하지 않는 60명의 농민을 조사하였다. SRI 방식의 경우 산출량/ha 면에서 44%가 증가했으며, 전통적인 방법들에 비해 순수익/ha 보다 두배 이상 높게 나타난 것으로 조사되었다(Namara et al., 2004). 이외에도 Dixit(2005)는 인도의 Tamil Nadu에서 SRI를 통해 벼의 생산이 28%까지 증가하고 물의 소비는 53% 감소했다고 기록하였다.

SRI 연구는 위에 언급한 내용 외에도 관개수 절약 및 쌀 산출량 증가와 관련하여 전세계적으로 많은 연구가 진행되고 있으며(Uphoff, 1999; Barrett et al., 2004; Husain et al., 2004; Wang et al., 2002; Yuan, 2002; Zhao et al., 2009; Ceesay et al., 2006; Satyanarayana et al., 2007; Sinha and Talati, 2007; Senthilkumar et

al., 2008; Sato and Uphoff, 2007; Kabir and Uphoff, 2007; Neupane, 2003; Namara et al., 2008), SRI 벼재배 연구현황사례들을 추가적으로 기술하면 다음과 같다.

2.2.1 중국 농업부와 난징농업대학교의 연구사례

본 사례조사 자료는 미국 코넬대학교의 The SRI Group 홈페이지 <http://ciifad.cornell.edu/sri/countries/china/cnnau9901.html>에서 인용하였다. 본 자료는 2005년 1월 13일에 게재된 자료이다.

가. 연구제목: Growth characterization and high-yield techniques for paddy rice under SRI management

나. 저자: Shaohua Wang, Weixing Cao, Dong Jiang, and Tingbo Dai. Key Laboratory of Crop Growth Regulation, Ministry of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; Caow@public1.ptt.js.cn

다. 연구요약

- 일련의 SRI 재배연구가 1999년부터 2001년까지 3년 동안 Jiangsu 성의 Nanjing과 Jiangyin에서 수행되었다. 이 연구는 관행과 SRI 재배 시 자포니카 벼와 하이브리드 벼의 성장 및 생산성을 비교하기 위하여 수행되었다. 실험처리는 벼의 품종, 재식밀도, 질소비료 사용량이 었다.
- SRI 재배시 비담수재배는 일정한 정도의 물부족을 야기하나 토양의 산소량을 증가시켰다. 관행재배와 비교하였을 때, SRI 재배는 뿌리의 활성화(activity)를 45~50% 그리고 잎의 수용성 당함량을 50~60% 강화하였다. 또한 SRI 재배는 단백질-질소 동화율(carbohydrate-nitrogen) 23~25%, Proline 함량 30~60% 그리고 Malondialdehyde 함량 10~50%를 증가시켰다. 건물중량과 출수후 벼의 잎과 줄기에서 이삭으로 이동되는 탄수화물과 질소원의 양과 비율은 각각 50~200%와 42~180% 증가하였다. 벼의 성장과정 중 건강도는 SRI에서 현저하게

증진되었다.

- 자포니카 벼의 SRI 재배 생산량은 관행재배에 비하여 낮게 나타났다. 이는 벼의 재식밀도가 낮았고 또한 이앙시 1 포기당 1주씩 이앙하였고 또한 물 관개용수 부족으로 영양생장시 성장이 둔화되었기 때문이다. 자포니카 품종인 Wuxiangjing 9의 SRI와 관행재배 생산량은 각각 7,486 kg/ha와 8,300 kg/ha이었다. 헥타아르당 벼 이삭의 숫자는 5.4%, 생산량은 5.5 % 감소하였다.
- 자포니카 품종 9915를 SRI 재식밀도 30×20 cm, 25×25 cm 그리고 30×30 cm로 재배하였을 때의 생산량은 각각 8,535, 8,205 그리고 8,370 kg/ha이었다. 이는 관행재배에 비하여 4.1%, 7.8% 그리고 5.9% 생산량이 감소된 것이다. 헥타아르당 SRI 벼의 이삭수는 관행재배에 비하여 8.2%, 11.5% 그리고 16.8% 감소하였다.
- SRI 재배시 자포니카 Wuxiangjing 9 품종을 벼 포기당 2주씩 이앙하고 질소시비량을 증가시켰더니 생산량은 유의적으로 증가하였다. 헥타아르당 이삭의 수는 23~36% 증가하였으며 출수기 이후 건물중량도 6~11% 증가하였다. 이와 같은 이유로 벼의 생산량은 9,253 kg/ha이었고 이때의 질소시비량은 150 kg/ha로 관행재배의 200%이었다. 더 이상의 질소비료 시비는 벼의 밀도는 증가시켰으나 출수기 후 벼의 건물중량과 탄수화물의 이동을 제한하여 전체적으로 벼의 생산량은 증가하지 않았다.
- 하이브리드 벼씨를 사용하였을 때, SRI와 관행재배는 헥타아르당 벼 이삭의 숫자는 비슷하였으나 생산량은 각각 11,750 kg/ha와 11,479 kg/ha이었다. 관행재배와 비교하였을 때, SRI 재배 벼의 뿌리는 크고 튼튼하였고 가지 숫자는 관행 벼 보다 높았다. 이와 같은 결과로 보았을 때 하이브리드 벼가 물과 비료를 덜 사용하는 SRI 재배조건에 더 잘 적용되는 것으로 판단되었다.

2.2.2 중국의 SRI 재배와 적용성 연구사례

가. 저자: Zhu Defeng, Lin Xianqing, Tao Longxing and Zhang Yuping (China National Rice Research Institute, Hangzhou 310006), Lu Shihua (Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu), Jin Xueyong (Northeastern Agricultural University, Harbin)

나. 중국의 SRI 재배요점

- 어린 모를 이앙한다. 모의 이앙은 발아 후 12~16일 정도가 좋다. 모는 비담수 재배로 충분한 수분을 공급하며 재배한다. 모상은 물에 잠기지 말아야 한다.
- 이앙간격을 충분히 넓힌다. 1포기에 1주식 이앙하여 1 m²에 7.5~15포기를 이앙한다. SRI 재배에서 단위면적당 포기수는 관행재배에 비하여 50% 정도 작다. 모내기할 때는 모의 뿌리에 흙이 떨어지지 않고 또한 볍씨가 붙어 있는 상태에서 이앙을 한다. 모내기할 때 뿌리가 잘라지거나 마르는 등 손상이 가면 안된다. 모는 사각형의 형태를 갖도록 이앙하여 벼 포기과 포기사이로 공기가 잘 통과하고 모의 뿌리 부분이 햇빛을 가능한 많이 받게 한다. 통상적인 SRI 이앙간격은 25×25 cm에서 40×40 cm 정도이다. 이앙간격이 넓을수록 뿌리의 성장이 촉진되고 무효분얼이 작아지고 식물체 주변의 습도가 낮아 질병의 발생이 작아진다.
- 모가 이앙의 충격에서 회복하면 뿌리의 발달과 가지치기를 촉진시키기 위하여 담수하지 않은 상태에서 토양의 수분을 유지시켜 주며 또한 토양을 호기성 상태로 유지한다.
- 토양에 영양물질을 공급한다. 가능하면 유기비료나 작물잔사와 같은 유기물을 공급한다. 이는 전통적으로 생산량을 증대시키기 위하여 중국에서 사용하는 재배관리방법이다. 유기물 시비량은 일반적으로 10~15 t/ha이다. 유기물의 사용은 토양의 비옥도와 미생물의 활동을

증가시킨다.

다. SRI에서 벼의 생산성 검토

1) 관행과 SRI의 가지치기와 성장

SRI로 모를 1주씩 이양한 재식밀도가 6.9, 11.1 그리고 15.3(대조구) 포기/m²일 때, 벼 잎의 숫자는 대조구보다 SRI에서 높게 나타났다. 파종 50일 후 잎의 출현율은 SRI가 대조구보다 높아서 유효분얼 가지의 수가 많았다. Sichuan, Hunan과 Heilongjiang 성의 자료에 따르면 5개의 잎을 가진 모는 이미 2~3개의 가지를 가지고 있다. 이양을 하면 모는 갑작스런 생육상황의 변경으로 생육에 충격을 받는다. 대조구보다 SRI 시험포의 벼는 가지치기를 빨리 시작한다. SRI 포기의 가지치기 숫자는 항상 대조구의 포기보다 2배 이상 많다. 가지치기가 완료된 상태에서 포기의 줄기수는 SRI와 대조구가 비슷하다.

그러나 SRI는 가지치기를 빨리하기 때문에 가지가 충분히 성장할 수 있어 유효분얼이 높게 된다. 다양한 환경조건에서 하이브리드 벼는 일반벼에 비하여 유효분얼이 높아 생산성이 높다. SRI 재배는 어린 모와 토양이 호기성 상태를 유지할 수 있도록 비담수 물관리를 한다. 그러나 중국의 관행재배는 30일 성숙모를 이양하고 가지치기 동안 담수재배를 한다. 재식밀도 포기당 1주씩 모내기하여 15.5 포기/m²를 유지하였을 때, 관행재배보다 SRI 재배의 가지치기 숫자가 많았다.

2) SRI 재배시 햇빛의 투과율

SRI로 포기당 1주씩 모내기 하는 벼재배의 재식밀도 7.5 포기/m², 15.5 포기/m², 그리고 19.5 포기/m²(대조군)일 때 지면까지 햇빛의 투과량을 조사하였다. 오전 11시 이전과 오후 1시 이후의 시간에는 이양간격이 넓은 SRI 재배에서 지면까지 도달하는 햇빛의 양이 상대적으로 많았다. 반면에 오전 11시부터 오후 1시까지의 한낮 시간에는 재식밀도에 관계없이 지면에 도달하는 햇빛의 양의 비슷하였다. 재식간격이 넓은 SRI에서 지면에 도달하는 빛의 양이 상대적으로 많아 벼의 광합성량이 증가하고 유기물의 생산량이 증가하는 것으로 나타났다.

3) SRI의 생산량 비교

Anhui 성 농업과학원의 Anqing 연구원에서 6 포기/㎡와 9 포기/㎡의 SRI 재식밀도와 관행재배의 수확량을 비교하였다. 6 포기/㎡는 12.15 t/ha 그리고 9 포기/㎡는 11.25 t/ha로 관행재배보다 각각 21.3%와 12.3% 생산량이 증가하였다. Zhejiang, Sichuan, Hunan 그리고 Heilongjiang 성에서는 SRI로 재배할 경우 일반벼보다 하이브리드벼의 생산량 증가가 크다는 연구가 있었다. 벼씨의 종류뿐만 아니라 SRI의 생산량은 이앙간격과도 관계가 있다는 것이 나타났다. 이앙간격이 넓어 재식밀도가 너무 낮을 때는 생산량이 감소하지만 적절한 재식밀도에서는 생산량이 증가하는 것으로 나타났다.

유효분얼과 무효분얼은 이앙간격과 큰 관계가 없는 것으로 나타났다. 이는 비료 사용시기와 물관리 방법의 차이 때문인 것으로 판단되었다. SRI에서는 1포기당 1주씩 이앙할 것을 권장하고 있다. 하이브리드의 경우 1~2 주/포기, 관행재배의 경우 포기당 3주 혹은 그 이상을 이앙하고 있다. 포기당 이앙숫자와 생산량을 비교하였을 때, 생산량에서는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 질소소비량이 120, 150 및 180 kg/ha로 증가할수록 생산량은 포기당 이앙숫자가 작은 곳에서 높게 나타났다. 또한 도정시에는 쌀의 발생율이 낮아 쌀의 품질이 개선되는 것으로 나타났다.

라. 물 이용효율과 기타 효과에 대한 고찰

1) 농업용수 절약

SRI 재배의 물관리는 비담수 재배를 원칙으로 하므로 관행재배와 다르다. 이앙 후 모가 성장(영양성장)하기 시작할 때는 비담수 재배로 최소한의 물만 공급해 준다. 그리고 벼가 이삭을 품을 수잉기부터 출수기(영양성장)까지는 지면을 겨우 덮을 정도로 얇게 담수한다. 이와 같은 재배는 늘 물관리에 신경을 써야하므로 노동력이 많이 소요된다. 노동력을 줄이기 위하여 일부 농민은 5~7일 간격으로 담수하고 건조시키는 간단관개를 시행하여 좋은 결과를 얻기도 한다.

최적의 물관리방법은 토성, 노동력의 가용성 및 다른 요소에 따라 달라진다. 따라서 농민은 자신의 논에서 최적의 물관리방법을 실증적으로 검증하고 사용할 필요가 있다. SRI 재배는 관행재배와 동일한 생산량을 가정하였을 때 약 50%의 농업용수

를 절약할 수 있다. 따라서 SRI의 생산성이 높은 반면 물 사용량은 작기 때문에 관행재배에 비하여 물사용효율이 증가한다.

2) 볍씨의 절약

어린 모로 이앙간격을 넓게 모내기를 하므로 볍씨의 사용량이 관행재배에 비하여 50~200% 절약된다. 하이브리드 벼가 재배되는 지역에서는 볍씨의 사용량이 더 많이 감소한다.

3) 온실가스의 배출저감

SRI는 환경친화적 농업이다. 물 사용량의 저감은 다른 용도로 농업용수를 사용할 수 있게 한다. 물로 공극이 포화되지 않아 호기성인 토양은 물로 포화된 혐기성 토양보다 생물다양성이 매우 좋다. 혐기성 논토양에서 발생하는 강력한 온실가스인 메탄가스는 호기성 토양에서는 발생하지 않아 지구온난화 방지에 매우 큰 기여를 할 수 있다.

반면에 호기성 토양에서는 온실가스인 아산화질소가 발생하여 메탄가스 저감효과를 일부 상쇄할 수 있다. 그러나 SRI로 질소비료의 사용량이 감소하면 아산화질소 가스의 발생량도 감소한다. 평균적으로 보았을 때 SRI는 지구온난화를 초래하는 온실가스의 발생을 많이 줄일 수 있다.

4) 소작농 효과

가난한 소작농은 작은 땅에서 최대의 수확을 얻어야 한다. SRI는 노동력을 저감하면서도 수확량을 증대시킬 수 있는 방법이기 때문에 소작농에게 보다 많은 혜택을 줄 수 있다. 소작농은 SRI를 시행하며 논 농업에 사용해야 할 노동력을 다른 분야에 사용하여 더 많은 수입을 올릴 수 있는 기회를 가질 수 있다.

5) 쌀 생산의 지속성

토양을 호기성 상태로 유지하며 많은 유기물을 투입하면 토양의 비옥도와 미생물의 활성도는 현저히 증가된다. 이는 쌀 생산에 필요한 최적의 조건이다. SRI는 토양의 호기성 유지와 유기물 사용을 적극 권장하기 때문에 SRI 벼재배는 토양의 비옥도를 증진시키며 쌀 생산의 지속성을 크게 높일 수 있다.

2.2.3 중국 Sichuan 지역의 SRI 적용연구사례

가. 연구제목: The System of Rice Intensification (SRI) for super-high yields of rice in Sichuan Basin

나. 저자: Zheng Jianguo, Lu Xianjun, Jiang Xinlu, and Tang Yonglu. Crop Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu, Sichuan, China 610066, Email: zhjguo@mail.sc.cninfo.net

다. 당초의 SRI 방법과 특성

마다가스카르에서 20여년에 걸쳐 개발된 당초의 SRI 방법은 과학자와 농민에게 벼가 가지고 있는 생산성을 극대화하기 위한 다양한 연구와 재배실험을 할 것을 요구하고 있다. SRI의 원리를 충분히 이해하고 지역특성에 맞도록 적용하면 벼 품종을 개량하지 않고 또한 시장에서 구입하는 농자재의 양을 늘리지도 않아도 현재의 세계 평균 벼 생산량을 약 2배 정도 증가시킬 수 있다는 것을 암시하고 있다. 또한 관개용수량도 약 50% 정도까지 저감할 수 있다.

SRI 벼는 벼가 튼튼하게 자라기 때문에 관행농법에 비하여 병충해에 대한 저항성이 크기 때문이 농약의 사용량을 많이 줄일 수 있다. SRI 방법은 기존의 관행농업과 3가지의 차이점이 있다. 이는 ① 어린모의 이앙이다. 가능하면 발아 후 8~15일 정도의 모를 이앙한다. ② 모내기는 관행의 3~6주 이앙보다 작은 1포기에 1주씩 이앙한다. 정사각형 혹은 직사각형 모양이 되도록 모내기한다. 이는 기계제초에 매우 유리하다. 비담수 재배기간이 많아 잡초가 번성하므로 이를 기계적으로 제초하기 위하여 충분한 이앙간격이 필요하다. 기계제초는 토양의 통기성을 증대하여 호기성으로 유지하는데 매우 중요하다. ③ 토양의 습도를 유지해 주나 영양생장 (vegetative growth) 기간에는 연속적으로 포화되지 않게 한다.

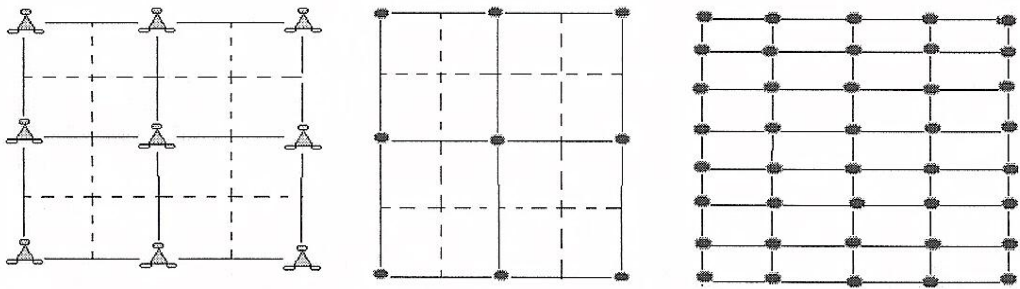
라. SRI 평가를 위한 기초연구

1) 생산량 증대방법으로의 SRI

Sichuan 농업지대에서 농민들은 관행적인 재배방법으로 평균 8.5 t/ha의 벼를 생산하고 있다. SRI가 처음 도입되었을 때 생산량은 10.42 t/ha로 20% 증수되었다. 그

리고 SRI가 Sichuan 지역에 적합하도록 재배방법을 개선하였더니 생산량은 13.39 t/ha로 관행재배 대비 약 50% 증수되었다. 이는 이앙방법을 그림 2-2-1에서 보는 바와 같이 포기당 삼각형 모양으로 3주씩 이앙하여 단위면적당 재식밀도를 50% 정도 증가시킨 반면 통풍과 햇빛의 투과 등 SRI의 특성을 유지할 수 있게 하였기 때문이다.

Meishan에서 Liu Z.B.는 2001년에 SRI 삼각형 모내기 방법으로 16 t/ha의 생산량을 기록하였다. 이 기록은 이 지역의 지방농무성에서 검증되었다. SRI 방법으로 생산된 최대의 수확은 21 t/ha로 마다가스카르에서 측정되었다. 이 기록은 고원지대이며 온도와 일사량이 Sichuan의 많은 지역과 크게 다르지 않은 지역에서 이루어졌다. 이앙간격은 50×50 cm(재식밀도 4포기/m²)이었으며 포기당 평균 70개의 이삭과 이삭당 260알의 벼를 생산하였다. 관행재배에서 SRI로 재배한지 6번째 재배에서 성취되었기 때문에 토양은 많은 유기물의 사용과 벼 뿌리 분비물 등으로 토양의 질과 조직이 현저히 개선되었을 것으로 판단된다.



<그림 2-2-1> 포기당 삼각형 모양 3주 이앙, 정방형 및 장방형 이앙 종류

2) SRI 벼의 건강성 평가

- ① SRI 재배 벼의 잎 면적은 관행 재배 벼에 비해 길이는 15.95%, 폭은 11.98% 크다.
- ② SRI 재배 벼의 체장은 길고 튼튼하다. 위에서부터 4번째 마디의 직경은 0.49 cm로 관행재배 벼보다 12% 굵다.
- ③ SRI 재배 벼의 엽면적 지수(LAI)와 건물중량은 관행재배보다 현저히 높았

다.

3) 벼 품종의 영향

SRI 재배의 효과는 벼의 품종에 따라 다소 다르게 나타났다. 만약에 성장단계의 마지막 부분에서 SRI로 재배하는 벼의 잎(functional leaves)이 너무나 길다면 광합성은 감소할 것이다. 따라서 SRI를 처음으로 재배하는 논에서의 이앙간격은 25×25 cm가 추천된다. 관행재배로 토양의 비옥도가 낮은 토양에 40×40 cm 이앙간격은 충분한 영양을 공급할 수 없어 벼의 생산량이 기대만큼 나타날 수 없기 때문이다. 충분한 유기물을 투입과 벼 뿌리의 분비물 등으로 토양미생물이 활성화되고 또한 토양의 질과 조직이 개선됨에 따라 이앙간격을 적절히 늘릴 필요가 있다.

4) SRI의 생산성, 자재투입, 노동력의 관계

SRI 벼는 병충해의 저항성이 강하다. SRI는 볍씨의 사용량을 50~90% 감소시킨다. 관개용수의 저감율도 약 50%에 달한다. 그러나 논은 효과적인 물관리를 위하여 매우 정밀하게 평탄작업이 이루어져야 하기 때문에 SRI 첫해에는 노동력이 많이 소모된다. 잡초제거 시간이 증가된다. 그러나 기계적인 잡초제거 작업은 토양의 통기성을 증가시켜 뿌리의 발육을 촉진한다. 그러나 잡초제거 등에 노동력을 투입하면 그 이상으로 수확량이 증대될 수 있어도 농민들은 영농작업에 노동력을 투입하지 않으려고 한다. 이와 같은 이유로 모든 농민이 SRI 재배에 참여하지 않거나 SRI에서 추천하는 방법으로 농사를 짓지 않는다. 따라서 Sichuan에서 수행한 지역특성을 반영한 SRI를 개발할 필요가 있다.

5) SRI 적용의 제한요소

가) 기상조건

포기당 1주 이앙, 40×40 cm 정사각형 모양의 이앙간격의 모내기는 Sichuan 지역의 기상조건에서 충분히 많은 숫자의 벼 이삭을 생산할 수 없으며 생산성이 떨어지게 된다. 농민들은 수치상으로 나타나는 자료보다 실질적인 생산성 향상이 이루어져야 SRI를 채택한다. 1포기당 3주를 이앙하는 삼각형 이앙방법은 벼의 재식밀도를 50% 정도 늘리며 SRI의 원리를 비교적 잘 수용할 수 있는 Sichuan 지역에 적합한

벼의 이앙방법이다. 쌀 농업지대에서 논외의 가장자리 벼는 안쪽의 벼에 비해 생산량이 많다고 경험적으로 알려져 있다. 이는 가장자리에 위치한 벼는 통풍, 일사량 등에서 중앙에 위치한 벼보다 많은 장점이 있기 때문이다. SRI는 논 전체면적에서 재래식 논외의 가장자리에 위치한 벼의 생산량을 달성하기 위한 방법으로 생각하면 이 해가 쉽게 될 수 있다.

나) 어린 모 이앙의 어려움

많은 농부들은 2엽 정도의 어린 모(발아 후 15일 정도 자란 모)를 이앙하는 것이 어렵다고 한다. 밀과 벼 혹은 야채와 벼 등 2모작이 이루어지는 관행재배에서는 7엽 정도의 모를 이앙한다. 2엽 정도의 어린 모를 이앙할 경우에는 경운시기 등이 조절되어야 한다. 최근에 페루에서 수행된 연구에 따르면 SRI는 재배기간을 평균 9일 단축하였다고 한다. 많은 나라의 농민들은 5~10일 정도 자란 어린모를 이앙하고 있다. 따라서 15일 정도 자란 모를 이앙하는 것은 생각처럼 어렵지 않을 수 있다. SRI의 많은 부분이 선입감에 의해 거부되기 때문에 이를 극복할 수 있는 설득방법이 중요할 수 있다.

다) 유기비료의 부족

최소경운과 무경운 농법이 인기를 끌면서 농가에서 사육하는 가축(소)의 숫자가 획기적으로 감소하였고 따라서 축분 등 유기비료의 재료를 구하기 어려워졌다. 그러나 SRI는 축분을 요구하는 것이 아니라 가용한 모든 광합성 식물체를 활용할 수 있기 때문에 식물체를 확보하기 위한 약간의 노력만 있어도 충분한 양의 유기물을 논에 사용할 수 있을 것으로 판단된다. 유기물을 많이 사용하는 SRI는 생산량을 1~2 t/ha 증가시킬 수 있기 때문에 유기물 준비에 필요한 시간과 노동력을 보완할 수 있을 것이다.

라) 잡초제거와 물관리의 어려움

현대의 농민은 단순하고 노동력이 최소화되는 농법을 선호한다. SRI는 잡초제거를 위한 노동력이 많이 소요된다. 또한 토양을 포화시키지 않으면서 통기량을 극대화할 수 있는 물관리 방법이 쉽지는 않다. SRI를 처음 시작할 때는 모든 것이 생소하고 잘 모르기 때문에 시간과 노력이 많이 소요될 수밖에 없다. 그러나 시간이 지나

면서 3년 혹은 4년차 SRI를 재배하며 많은 부분이 숙달되고 습관화되어 시간과 노동력이 줄어든다. 4년 정도 SRI 재배 농민은 관행에 비하여 SRI의 노동력이 줄어든다고 한다. 또한 SRI 노동력을 줄이기 위한 다양한 장비와 방법의 개발로 노동력은 더욱 더 감소될 수 있다. 농민들이 SRI 방법을 충실히 따르며 노동력을 저감할 수 있는 방법과 장비를 개발하며 숙달된다면 농민들이 다른 분야에서 거둘 수 있는 것 이상의 수익을 SRI를 통하여 올릴 수 있을 것이다.

6) Sichuan의 SRI 개선과 적용

가) 플라스틱 트레이를 이용한 모의 재배

모내기용 모는 트레이를 이용하여 비담수 재배로 키운다. 그리고 이상시에는 뿌리에 붙은 흙과 씨앗이 떨어지지 않도록 조심하며 20~30분 이내에 뿌리가 마르기 전에 이앙한다. 이앙시 뿌리에 줄 수 있는 충격을 최소화하여 이앙 후 벼가 빠르게 성장할 수 있도록 모든 가능한 조치를 취해야 한다. 어린 모의 뿌리는 땅속으로 깊게 심지 않고 가능한 토양표면에 얇게 매설하며 뿌리의 끝부분은 땅속이 아닌 지면 부근으로 향하도록 한다. 이 방법은 어린 모가 이앙의 충격에서 빠르게 회복할 수 있게 한다. 모는 필요에 따라 잎의 숫자가 3~4개가 될 때까지 기다렸다 이앙할 수도 있으나 가능하면 어린 모를 이앙하는 것이 좋다. 여러 연구에서 어린 모를 이앙하는 것이 생산량 증가에 기여한다는 결과가 있기 때문이다. 플라스틱 모판에 모를 키우는 것은 관리와 운반을 비롯하여 모든 작업을 쉽게 해 준다.

나) SRI의 적정 재식밀도 4.2~5.5 포기/m²

SRI를 처음 시도하는 논에서 4.2~5.5 포기/m²의 재식밀도는 토양이 충분히 비옥하지 않으면 너무 낮을 수 있다. 이 경우 벼 생산량은 기대보다 작을 수 있다.

다) 장방형 모양의 삼각형 이앙방법

1포기당 3개의 어린 모를 삼각형 형태로 분리하여 이앙하는 삼각형 이앙방법은 단위면적당 이삭의 생산숫자가 증가한다. 그리고 이삭의 크기도 커지기 때문에 모든 논에서 가장자리 효과를 나타내며 생산량을 증가시킨다.

라) 제초와 멀칭방법

SRI는 넓은 공간, 유기비료의 사용 등으로 관행재배에 비하여 잡초가 많이 발생한다. 특히 무경운 재배의 경우 잡초가 심각한 문제가 될 수 있다. 제초제와 지표 멀칭을 적절히 사용하여 잡초문제를 비교적 쉽게 해결할 수 있다. 제초제는 이앙전에 사용하고 이앙 후 모가 이앙의 충격을 벗어날 즈음, 혹은 최초의 기계제초작업이 마무리된 후 벧짚이나 밀짚 등으로 지표면을 멀칭한다. 그러나 제초제의 사용은 토양을 호기성 상태로 유지하기 위한 토양통기에 도움이 안되고 또한 가지치기에 악영향을 미칠 수 있다. 또한 토양의 미생물상에 심각한 해를 끼칠 수 있다. 지표 멀칭은 매우 효과적이고 혁신적인 잡초제어방법 중의 하나이나 다양한 잡초제어 방법을 지속적으로 실험할 필요가 있다.

마) 유기물의 사용

유기비료는 작물이 튼튼하게 성장하는데 중요한 역할을 한다. 유기비료의 효과는 천천히 나타난다. 가지치기 단계에서 유기비료는 유효분얼을 유도하는 역할을 한다. 유기비료의 가치는 유기비료가 가지고 있는 N, P 및 K 등 비료성분보다 화학비료가 할 수 없는 토양미생물의 다양성과 성장을 견인하는데 있다. 과도한 화학비료의 사용으로 지하수의 질산성 질소농도가 규제값 이상으로 증가하는 사례가 많다. 그러나 유기비료를 사용하면 지하수를 오염으로부터 보호할 수 있으며 또한 친환경적인 농산물을 생산할 수 있다.

바) 유효분얼 후 무효분얼을 억제하기

벼의 가지치기 능력은 대단히 강하다. SRI 재배시 포기당 총가지수에 대한 유효분얼 비율은 종종 50%보다 작을 때가 있다. 따라서 유효분얼이 종료될 즈음 중간낙수를 시행하여 과도한 가지치기를 방지하여 무효분얼을 줄이고 있다. 무효분얼이 많은 것은 과도한 화학비료의 사용하거나 화학비료의 토양축적량이 많기 때문이라는 의견도 있다. 이는 SRI를 충실히 이행했을 때 유효분얼 비율은 종종 80~90% 이상될 수 있고 유기비료의 사용으로 토양의 비옥도가 높을 경우에는 관행재배보다도 높을 수 있기 때문이다. 유효분얼 후 중간낙수는 바람직한 물관리 방법임에는 틀림없으나 SRI로 토양이 비옥한 논에서 무효분얼문제는 잘 나타나지 않는다.

사) 무경운 재배시 고랑내기

논에 물을 대주었다 말리는 간단관개는 바람직한 물관리 방법이다. 논에 일정한 간격으로 고랑을 만들면 관개하기 편하고 또한 고랑에 물이 고여있는 상태에서도 토양표면을 호기성상태로 유지하는데 유리하다. 고랑을 만들면 벼재배지는 자연적으로 두둑(raised bed)이 되고 이는 SRI 물관리에 많은 장점을 가진다. 두둑과 고랑을 사용하는 재배방법을 작물잔사(벧짚, 밀짚 등) 멀칭과 함께 사용하면 지렁이의 성장을 획기적으로 유도하여 토양의 통기성을 크게 높일 수 있다.

7) Sichuan에서 SRI 재배방법

Sichuan 성의 Leshan 시는 벼와 밀 이모작을 재배하는 대표적인 지역이다. 관개 조직은 잘 발달되어 있다. 2002~2003년 2년 동안 밀 대신 벼싯 혹은 야채와 벼를 재배하는 이모작 실험이 수행되었다. 벼 생산량은 2년 연속 12 t/ha를 초과하였다. 이와 같은 생산성은 Sichuan의 농무성과 중앙정부의 전문가에 의해 검증받았다. 이 방법은 지역의 실정에 부합하는 SRI 기술로 관행재배에 비하여 46% 생산성을 향상시켰다.

2.2.4 중국 Changsha 지역의 SRI 연구사례

가. 연구제목: A Comparison between System of Rice Intensification and Conventional Cultivation Methods

나. 저자: Wang Xuehua and Peng Jiming. China National Hybrid Rice Research and Development Center

다. 서론

SRI는 마다가스카르에서 개발된 벼재배방법이다. SRI 재배방법은 관행재배방법과 여러 면에서 대조된다. 어느 방법이 보다 많은 생산성을 유지할 수 있는지 검증할 필요가 있다. 생산성이 매우 높은 Eryou-pei 9 벼 품종과 하이브리드 벼씨인 Sanyou 63 품종의 생산성을 2001년도에 Changsha에서 비교실험 하였다.

라. 연구방법

1) 시험포의 특성

시험포는 해발 600 m에 위치하며 시험포의 토성은 사질토이다. 관행적인 벼재배시 중간정도의 비료를 사용하고 있다. 관개와 배수시설은 양호하며 시험용 논 전체 면적은 0.2 ha이었다.

2) 실험설계

0.2 ha의 시험포는 0.12 ha와 0.08 ha의 시험구로 구분하였다. 0.12 ha 시험구는 관행재배의 대조구로 사용하였으며 0.08 ha 시험구는 고생산 벼씨(super high-yielding)인 Eryou-pei 9와 하이브리드 벼인 Sanyou 63를 SRI로 재배하였다. 각각의 시험구는 다시 20 m² 크기의 시험포로 구분하여 실험을 수행하였다.

3) 재배방법

- ① SRI: 모재배는 플라스틱 트레이에 1구당 1개의 벼씨를 2001년 5월 1일 파종하여 시작하였다. 그리고 5월 12일 이앙하였다. 이앙간격은 33.3×33.3 cm이었다. 비료는 분뇨 15 t/ha와 225 kg/ha의 복합비료를 사용하였다. 6월 8일 추비로 60 kg/ha의 요소(urea)와 240 kg/ha의 복합비료를 사용하였다. 이는 SRI에서 권장하는 시비량보다 상당히 많은 시비량이다. SRI에 따르면 출수기 전에 적절한 토양수분이 유지되어야 하나 담수재배는 권하지 않는다. 6월 15일 무효분얼을 제어하기 위하여 배수하여 토양을 건조시켰으며 6월 30일 다시 관개하였다. 건조기간 동안 강우일수는 4일이었다.
- ② 관행재배: 벼씨는 2001년 5월 1일 담수모상에 파종하고 5월 30일 이앙하였다. 이앙간격은 16.7×26.7 cm이었다. 기비로 분뇨 15 t/ha, 탄산암모늄(ammonium carbon-hydrate) 750 kg/ha, calcium phosphate 525 kg/ha, 그리고 염화칼륨 (KCL) 195 kg/ha를 시비하였다. 5월 6일 추비로 요소 90 kg/ha, 복합비료 300 kg/ha, 그리고 7월 12일 추비로 복합비료 150 kg/ha를 시비하였다. 시험포는 재배기간 동안 담수되었다.

5) 결과 및 분석

- ① SRI는 두 개 품종 모두 관행재배에 비하여 이삭당 나락숫자, 1,000 나락당 무게, 그리고 생산량에서 높게 나타났다. Eryou-pei 9 super-hybrid는 관행재배에 비해 SRI에서 각각 6.8%, 6.6%, 4.4%, 그리고 10.97% 높았다. Sanyou 63은 각각 5.7%, 12.9%, 1.7%, 그리고 8.21% 높게 나타났다. 생산량은 Eryou-pei 9에서 12.401 t/ha 그리고 Sanyou 63에서 11.726 t/ha이었다.
- ② SRI 재배는 분얼숫자가 많았다. 동일한 성장단계에서 SRI의 분얼숫자는 관행에 비해 두 배 정도되었다.
- ③ SRI는 관행에 비해 체장이 길었다. Eryou-pei 9는 1.5 cm 그리고 Sanyou 63은 7.0 cm 정도 체장이 길었다.
- ④ SRI는 성장속도와 성장기간에 영향을 미치지 않았다. Eryou-pei 9의 성장속도와 성장기간은 관행과 SRI가 같은 143일이었다. 반면에 Sanyou 63은 질소비료의 과다사용으로 SRI 성장기간이 관행에 비해 다소 길었다.

6) 고찰

- ① 유기비료는 슈퍼하이브리드 벼인 Eryou-pei 9에서 생산량 증가에 더 좋게 나타났다.
- ② SRI는 분얼을 촉진하였으나 무효분얼을 방지하기 위한 중간낙수가 필요하였다. SRI에서 무효분얼을 방지하지 못하면 이삭당 낱알수, seed set rate, 1,000 낱알무게가 관행재배보다 작았다. Eryou-pei 9 품종은 5.4 million/ha의 높은 분얼을 나타냈다.

제 3 장

관행 및 SRI 시험포

설치 및 운영



한국농어촌공사 농어촌연구원



강원대학교

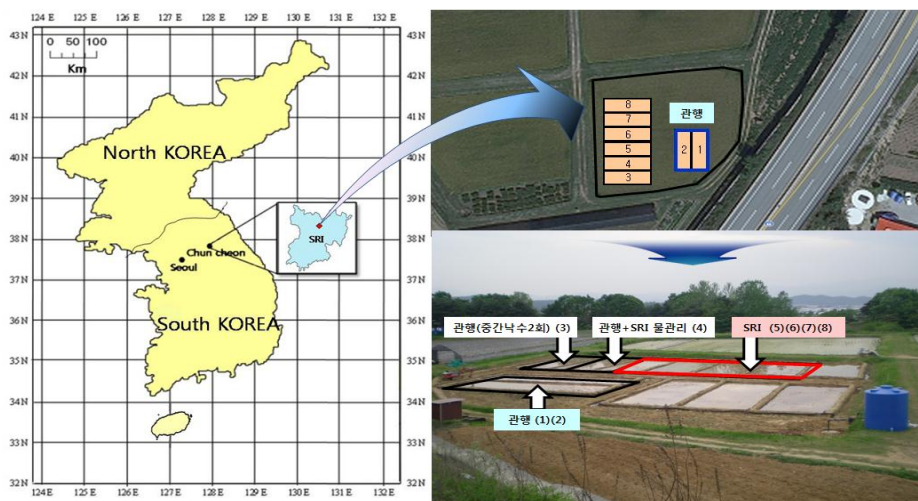
제3장 관행 및 SRI 시험포 설치 및 운영

3.1 연구대상지역

연구대상지점은 강원도 춘천시 신북읍 천전리 내에 위치한 강원대학교 농장의 논으로(면적 1,873 m²) 1차년도(2010년)에 조성하였던 동일한 시험포(북위(N) 37° 55' 57" , 동경(E) 127° 46' 59")를 재정비하여 연구를 진행하였다(그림 3-1-1).

연구대상지점은 대학교 농장 관리인의 관리를 받고 있어 재배작물의 파종, 시비 등의 영농관리를 과학적으로 수행할 수 있으며, 모니터링을 위한 시설설치시 안전 관리에도 유리하다. 그리고 논 상부에 위치한 저수지로부터 자연유하로 필요시마다 농업용수를 공급받을 수 있어 용수공급이 매우 용이하며, 연구자의 연구실로부터 10 km정도 떨어진 곳에 위치하고 있어 접근성 또한 매우 좋다.

이 지역은 내륙성 기후특성을 보이며 연평균(평년값: 1981년-2010년) 기온은 11.1℃, 연평균 최고기온과 최저기온은 각각 17.2℃와 5.9℃이다. 그리고 연평균 강수량(평년값: 1981년-2010년)은 1,347.3 mm로 강수량의 70% 이상이 6~9월에 집중되는 지역이다(기상청, 2011). 연구기간동안의 월별 평균 온도, 강수량 및 일조시간은 표 3-1-1과 같으며, 연간 기상개황은 표 3-1-2에 나타내었다.



<그림 3-1-1> 연구대상지역

이러한 온도, 강수량등의 기상환경은 직접적으로 벼생육과 관련되는 양분흡수, 물질이동 등의 생리적인 기능과 밀접한 관계가 있으며, 간접적으로는 병충해 발생 또는 도복 등을 통하여 수량에도 관여한다. 벼재배를 위해서는 기상환경을 충분히 고려한 체계적인 재배 관리기술이 필요하다. 이외에도 토양환경(화학성분 및 토성 등)을 충분히 고려해야 한다.

당해연도(2011년) 연구대상지역의 농한기 토양(표토)은 평균 $21.6 \pm 2.3\%$ 의 수분을 포함하고 있는 것으로 나타났으며, 유기물함량(Organic matter, OM)은 19 ± 1.2 g/kg, 칼슘 5.1 ± 0.5 cmol/kg, 마그네슘 1.9 ± 0.3 cmol/kg, 칼륨 0.4 ± 0.05 cmol/kg 그리고 pH 5.9 ± 0.4 인 양토(모래 48.6%, 실트 33.8%, 점토 17.5%)로 나타났다.

(표 3-1-1) 월별 평균기온, 강수량, 일조시간 및 상대습도

	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월
평균기온(℃)	3.2	10.1	17.1	21.9	24.4	25.1	19.6	11.8
강수량(mm)	12.7	116.6	119.5	459.6	932.5	161.1	64.5	23.6
일조시간(hr)	232.7	185.7	191.4	201.0	82.7	113.2	156.8	166.0
상대습도(%)	55.2	58.0	63.0	70.8	85.9	82.1	73.0	73.3

출처: 기상청(2011)

(표 3-1-2) 춘천시의 기상개황

구 분	기온(℃)			강수량 (mm)	일조시간 (h)	상대습도 (%)
	평균	평균최고	평균최저			
2005	11.0	17.2	5.8	1,334.2	2,099.8	64.2
2006	11.5	17.5	6.7	1,659.4	1,899.5	68.0
2007	11.7	17.6	6.9	1,374.9	1,817.4	74.0
2008	11.3	17.3	6.7	1,439.4	2,036.0	70.0
2009	11.5	17.5	6.2	1,448.9	2,083.9	69.1
2010	11.0	16.5	6.2	1,581.4	1,844.3	69.9

출처: 춘천시 통계자료(2011), 기상청(2011)

3.2 관행 및 SRI 벼재배 실험설계

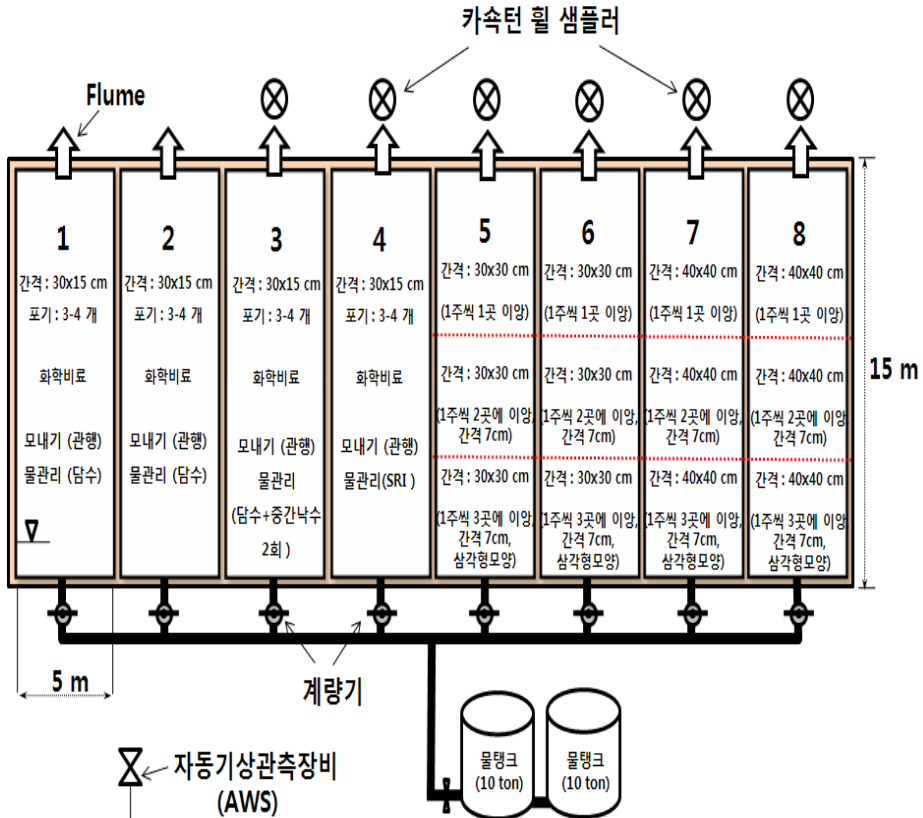
새로운 벼재배 기술인 SRI 기술의 효과분석을 위한 생육조사 및 수확량 조사 등 제반 현장 모니터링을 위한 시험포를 SRI의 원칙에 따라 준비하고, 관행농법에 의한 벼재배 방식과 비교하고자 1차년도와 동일한 시험포에서 관행 및 SRI 벼재배 실험을 수행하였다. 그리고 기존의 관행모내기(기기이앙)에 물관리 방법만을 달리하여 관행 I(상시담수), 관행 II(중간낙수 2회 실시) 및 SRI 물관리에 따른 벼재배 효과 분석 실험을 실시하였다. 또한, 1차년도 연구결과를 바탕으로 수확량 증가를 모색하기 위해 SRI 시험포의 경우 모의 개수를 SRI 원칙에 의거한 포기당 1개 이상 뿐만아니라 2개, 3개로 하여 연구를 진행하였다.

SRI 벼재배 적용성 평가를 위한 실험처리는 대조구인 상시담수재배(관행, 재식거리 30×15 cm) 1처리(1번, 2번 시험포)와 재식거리별(30×30 cm, 40×40 cm) SRI 재배 2처리(5번-8번 시험포) 2반복으로 하여 가로 5 m, 세로 15 m 크기의 시험포를 6개 조성하였다. 여기에, 관행농법(기기이앙, 재식거리 30×15 cm)에 물관리만을 달리한 관행 II(3번 시험포)와 SRI 물관리 시험포(4번 시험포) 각각 1개씩을 더 조성하여 총 8개의 시험포를 운영하였다. 그리고 재식거리별 SRI 시험포의 경우 각 시험포를 3등분하여 모의 개수를 1개, 2개(간격 7 cm) 그리고 3개(삼각형모양, 간격 7 cm)의 형태로 이앙하였다(그림 3-2-1).

관행재배의 시비, 제초, 병충해 방제 등의 포장 관리는 농촌진흥청 표준 재배법에 준하여 진행하였으며, SRI 재배의 경우 물관리 및 인력제초를 제외한 나머지는 관행재배와 동일하게 영농관리를 수행하였다. 연구기간동안 이루어진 관행 및 SRI 시험포의 영농활동은 동일한 시기에 이루어졌으며(표 3-2-1), 주요 영농 방법과 관련하여 SRI와 관행 벼재배를 비교하여 표 3-2-2에 나타내었다.

시비량은 표준시비량을 기준(N-P205-K20: 110-45-57 kg/ha)으로 각 시험포에 시비하였으며, 관행 및 SRI 시험포에 이앙할 모의 재배품종으로 오대벼를 공시하고 관행시험포의 경우 1주당 3-4본씩 기계이앙을, SRI 시험포는 포기당 1개, 2개 그리고 3개의 모를 손이앙 하였다.

각 시험포에는 강수량, 관개량, 유출량, 토양수분량 및 온실가스 등을 측정할 수 있는 자동기상 관측기(AWS), 수도계량기, 수위계, 수분측정기(TDR) 및 온실가스 측정 장비와 이들 실험장비를 보호할 수 있는 시설을 설치하였다(그림 3-2-2).



<그림 3-2-1> 관행 및 SRI 시험포 조성 및 기기설치 개략 평면도

(표 3-2-1) 연구기간동안의 영농활동

날 짜	영농활동	참 조
2011. 3. 31	배수로정비(3월-5월) 및 지령이 분변토 주입	각 시험포에 1ton 씩 주입
4.11-15	논두렁 비닐차단막설치	논두렁을 통한 횡침투 손실 차단 작은 시험포의 경우 횡침투 영향이 큼
4. 15	별씨 걸러내기(염수선) 및 칩종	소금물이용: 쪽정이 선별 스포탁 및 스미치온 약품 이용
4. 22	별씨 파종 (오대벼)	관행: 파종기 이용(상자육묘) SRI: 200구 트레이 이용(30×60 cm)
4. 29	화학비료 주입(복합비료)	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O 110-45-57 (kg/ha)
5.10-12	로타리 작업 및 줄대기	평탄화 작업 동시 실시
5. 13	모내기(이앙)	관행: 3-4개/포기 (30 ×15 cm) SRI: 1개, 2개, 3개/포기 (30×30 cm, 40×40 cm)
9. 8	수확 및 탈곡	
9. 15	도정	

(표 3-2-2) 각 처리별 주요 영농방법 비교

구분	이앙방법	모의개수/포기	재식거리 (cm)	물관리	제초작업
SRI 시험포	손이앙	1, 2, 3	30×30 40×40	비담수 간단관개	제초제 1회 및 인력 2회
관행 + SRI 물관리	기기이앙	3 - 4	30×15	비담수 간단관개	제초제 1회 및 인력 2회
관행 (중간낙수2회)	기기이앙	3 - 4	30×15	상시담수 (중간낙수 2회 실시)	제초제 사용
관행	기기이앙	3 - 4	30×15	상시담수	제초제 사용

		
<p>자동기상 관측장비(AWS)</p>	<p>수도계량기</p>	<p>플룸 및 카속턴 휠샘플러</p>
		
<p>수위계</p>	<p>수분측정기(TDR)</p>	<p>온실가스 측정설비</p>

<그림 3-2-2> 관행 및 SRI 시험포 기기설치 사진

3.3 시험포 설치 및 운영

3.3.1 포장정비

가. 독 및 배수로 재정비

1차년도(2010년)에 설치한 시험포의 논둑 및 배수로 내 유출량 측정시설 말단부분이 강우유출수로 인해 흙이 붕괴되는 현상이 나타나 시험포 유지보수를 위해 독 및 배수로 재정비 작업을 3월부터 5월까지 지속적으로 실시하였다.

논둑의 경우 무너진 독을 쌓아 폭 및 높이를 재정비 하였으며, 작업의 효율성(미끄럼 방지, 이동의 편의성 등)을 위해 독 발판을 추가적으로 설치하였다. 그리고 배수로는 강우시 원활한 배수를 위해 배수로 내 흙 파내기 및 다짐작업을 통해 배수로 폭 및 높이를 재정비하였으며, 유출량 측정시설 하단부분은 무너짐 현상 방지를 위해 콘크리트 작업을 수행하였다. 또한, 각 시험포별로 배수로 외벽 부근에 비닐설치작업(차단막)을 실시하여 논두렁을 통한 관개용수의 횡침투 손실을 최소화하였다(그림 3-3-1).

나. 수도시설 설치 및 재정비

2차년도(2011년) 연구를 시작하기 전에 정확한 관개량 측정을 위해 수도계량기 및 수도관등 수도시설을 재정비하였으며, 충분한 관개용수량 저장 및 관개시 주입 시간 단축을 위해 물탱크(10 ton)와 유출부에 펌프시설을 추가로 설치하였다. 그리고 저수지로부터 수로를 통해 내려오는 용수를 물탱크에 저장 시, 협잡물 등으로 인한 막힘현상에 따른 잦은 펌프고장으로 인해 유입 펌프시설 전단계에 여과시설을 설치하고 재정비하였다(그림 3-3-2).

① 독 발판설치	② 배수로 정비-1	③ 배수로 정비-2
④ 배수로 정비-3	⑤ 비닐 설치-1	⑥ 비닐설치-2

<그림 3-3-1> 독 및 배수로 정비작업

① 수도시설 재정비	② 물탱크 설치



<그림 3-3-2> 수도시설 설치 및 재정비

3.3.2 계측설비 설치

모니터링 지점의 정확한 수문분석을 위해 시험포장내 자동기상관측장비(AWS)를 설치하여 강우량, 온도, 상대습도 등을 측정하고 춘천기상대의 일강우량 자료를 보조 강우자료로 활용하였다. 강우시 눈에서 발생하는 유출량 산정을 위해 flume과 부자식수위계(Thalimedes)를 설치하였으며, 수위계는 5분단위로 수위를 측정하였다. 그리고 수위-유량 곡선을 이용하여 수위를 유량으로 환산하여 유출량 산정하였다. 강우시 유출수는 카속턴 휠 샘플러를 설치하여 강우시 유출이 발생할 때마다 복합 수질시료를 채취할 수 있도록 하였다. 또한, 관개기간동안 SRI 시험포 토양내 수분 변화를 살펴보기 위해 토양수분측정기(Time Domain Reflectometry, TDR) 설치하였다.

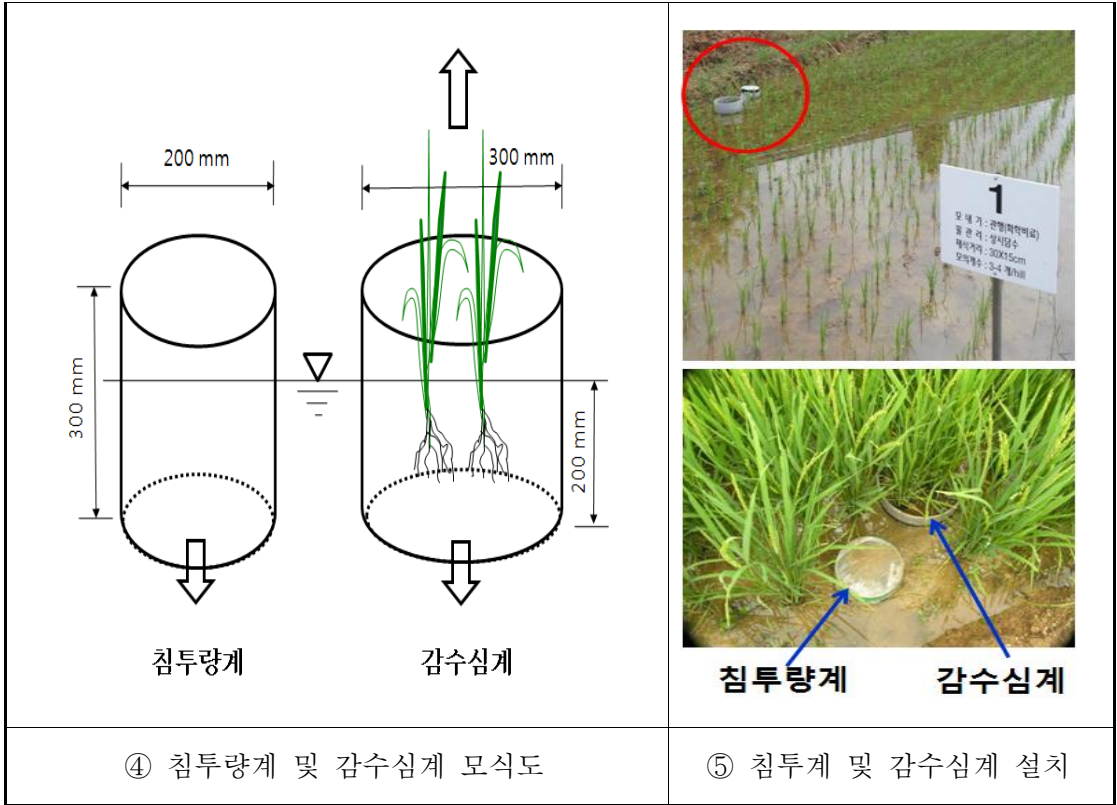
증발산량을 측정하기 위해 관행 논 2개의 시험포에 각각 원통형 침투량계(직경 20 cm, 높이 30 cm) 및 감수심계(직경 30 cm, 높이 30 cm)를 설치하였으며, 일별 변화하는 감수심과 침투량계의 수위 변화를 정기적으로 측정하여 증발산량을 산정하였다. 실측 논 시험포의 증발산량은 감수심에서 침투량을 뺀 값으로 계산하였다. 감수심계와 침투량계의 설치는 논바닥이 비교적 평평한 부분을 선택하여 논에 20 cm 정도 압입하고 전체 높이 중 10 cm 정도가 지상부에 나와 있도록 하였으며, 내벽과 외벽에 10 cm 길이의 자를 부착하여 정확한 증발산량을 측정할 수 있도록 하였다.

침투량계의 경우 담수의 증발을 막기 위해 지상부 위쪽 끝부분을 비닐을 이용하여 밀봉하였다.

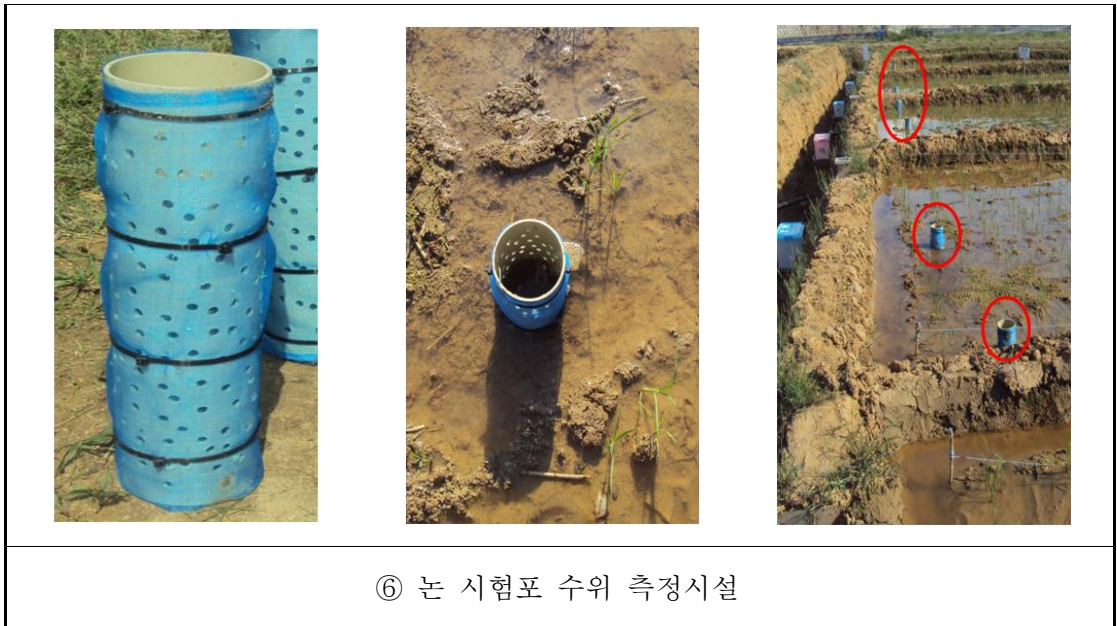
그리고 관개용수 주입에 따른 정확한 논의 수위변화를 관측하기 위해 각 SRI 시험포내에 2개의 수위측정 설비를 설치하였으며, 시기별 물관리 방법에 따른 온실가스(메탄 및 아산화질소) 배출량 측정 및 평가를 위해 관행 및 SRI 시험포에 가스포 집설비를 각각 3대씩 설치하였다(그림 3-3-3).

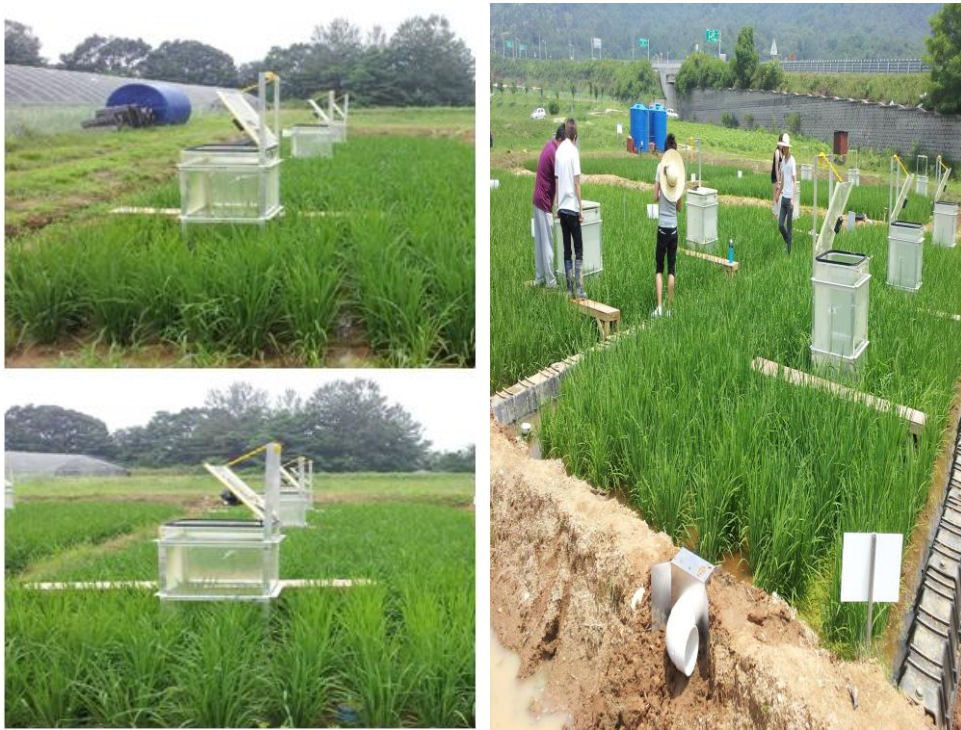
		
<p>① 자동기상관측장비 (AWS)</p>	<p>② flume과 카속턴휠 샘플러, 수위계</p>	<p>③ 토양수분 측정기 (TDR)</p>

<그림 3-3-3> 계측시설 설치



<그림 3-3-3> 계측시설 설치 (계속)





⑦ 온실가스 측정설비

<그림 3-3-3> 계측시설 설치 (계속)

3.3.3 볍씨준비 및 종자소독

종자는 각각의 지방에 알맞은 장려품종 중에서 재배할 품종을 고르고 유전적으로 순수하고 성숙된 종자를 이용하는 것이 좋다. 본 연구에서는 강원도의 재배면적 중 절반이상을 차지하고 있으며 강원도를 대표하는 오대벼를 종자로 사용하였다.

볍씨는 파종하기 전에 일정기간 동안 물에 담가서 발아에 필요한 수분을 흡수시키는 것이 보통인데 이것을 침종(浸種)이라 한다. 침종이 끝난 볍씨는 볍씨로부터 발생하는 병해를 막기 위하여 종자소독제(種子消毒劑)로 반드시 처리한다. 본 연구에 이용한 볍씨는 파종하기 전에 염수선(소금물을 이용하여 쪽정이 선별)과 종자소

독을 실시하였다. 종자소독을 위해 스포탁(살균제, 2000배 - 20 ml/40 L)과 스미치온(살충제, 1000배 - 20 ml/20 L)을 이용하였으며, 약품 혼합 후 볍씨를 48시간동안 침종하였다.

이 후 볍씨로부터 발생하는 병해를 막기 위해 자바라 종자처리 수화제로 처리하였으며, 충분한 볍씨담그기를 하여 파종직전에 종자상태가 어린싹이 1 mm 정도 되도록 싹틔우기를 실시하였다(그림 3-3-4).









<그림 3-3-4> 종자 소독 및 침종

3.3.4 파종

관행 및 SRI 시험포에 이앙할 오대볍씨의 파종은 2011. 4. 22일 동시에 실시하였다. 관행을 위한 볍씨 파종은 기존 관행의 방법과 동일하게 파종기를 이용하였다.

우선, 파종기에 묘판을 넣기 전에 상자묘판에 상토를 채우고, 물대기를 실시한 후 파종기를 이용하여 묘판에 골고루 볍씨를 파종하였다. 그리고 수분이 날아가는 것을 방지하기 위해 비닐을 덮어주었다(그림 3-3-5).

		
<p>① 상토준비</p>	<p>② 묘판 준비 및 상토 채우기</p>	<p>③ 물대기</p>
		
<p>④ 파종기로 볍씨파종</p>	<p>⑤ 상토덮기 및 정리</p>	<p>⑥ 비닐덮기</p>

<그림 3-3-5> 관행 볍씨 파종

SRI의 경우 SRI 재배 원칙에 부합하기 위해서는 모를 1개씩 이상해야 하므로 200구 트레이(30×60 cm) 포트묘판을 준비하여 볍씨를 포트 1곳에 1개씩 손으로 파종하였다. 파종 후 상토를 덮어주었으며 볍씨가 잘 자랄 수 있도록 주기적으로 물을 대어 수분을 공급하였다(그림 3-3-6).

		
① 200구 묘판 준비	② 상토채우기	③ 묘판에 구멍 내기
		
④ 뽕씨 파종하기	⑤ 상토덮기	⑥ 수분공급

<그림 3-3-6> SRI 뽕씨 파종

3.3.5 시비 및 로타리 작업

벼는 영양생장기에 질소·인산·칼리 및 그 밖의 영양분을 많이 흡수하여 줄기와 잎을 키우는데 이 시기에 영양분이 모자라면 생육이 억제되어 수확량이 적어진다. 생식생장으로 들어가면 질소와 인산의 흡수량은 적어지나 규산·칼슘 및 마그네슘의 흡수량은 많아진다. 이와 같은 영양분들은 식물체에 흡수되어 각종 생리적인 대사작용에 필수적으로 이용되기 때문에 질소·인산·칼리와 같이 벼가 자라는 데 다량으로 필요한 성분은 비료의 형태로 시용해 주어야 한다.

이에 벼의 생장에 필요한 비료를 표준시비량을 기준으로 계산하여 로타리 작업을

수행하기 전에 각 시험포에 물대기 작업 후 시비량에 맞춰 화학비료 4kg(질소, 인산, 칼리- 17: 21: 17, 20kg)을 각 시험포에 시비하였다. 비료 주입 후, 이앙(모내기) 준비를 위해 로타리 및 평탄화 작업을 수행하였다. 평탄화 작업은 관개용수의 효율적인 사용을 위해 매우 중요하다(그림 3-3-7).



<그림 3-3-7> 시비 및 로타리 작업

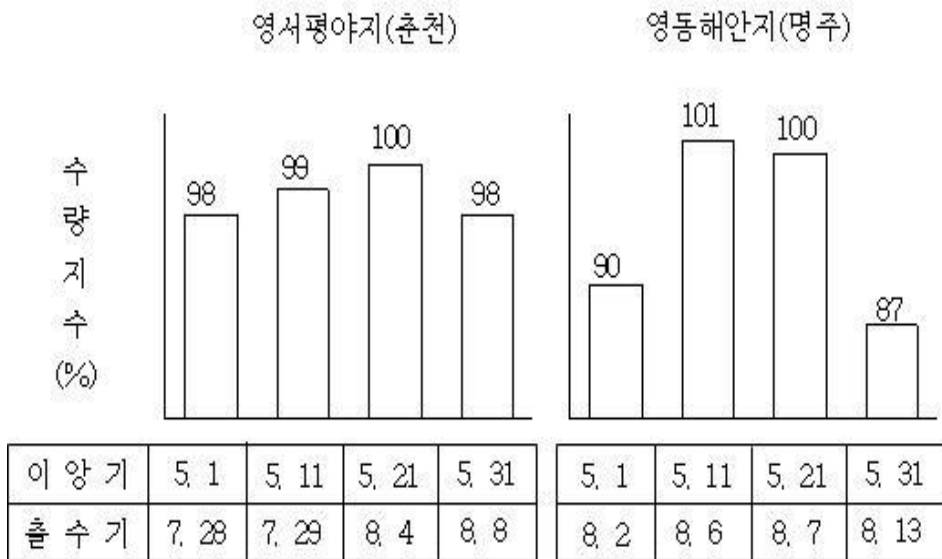
3.3.6 이앙(모내기)

파종 및 이앙기에 산간, 내륙, 분지지역에서는 최저기온의 변동이 커서 조기 재배시 저온피해를 입을 위험성이 크므로 너무 빠른 파종 및 이앙을 피하는 것이 바람직하다(농촌진흥청, 2006). 강원 영서 지방(춘천)의 이앙 적기는 수량지수를 기준으로 5월 11-21일 정도인 것으로 조사되었다(그림 3-3-8). 본 연구에서는 파종(4. 22일) 후 21일이 지난 5월 13일에 관행 및 SRI 시험포에 모내기를 실시하였다(그림

3-3-9).

SRI 벼재배의 경우 SRI 원칙에 의거하여 파종 후 15일 이내로 하여 어린모(5-7 cm)를 이앙하려 했으나, 오대뱀씨 불량문제로 인해 이앙시기가 다소 늦어져 관행시험포 이앙 일정과 동일하게 진행하였다. 관행 시험포(1번, 2번) 및 관행모내기 후 물관리만 달리하는 3, 4번 시험포는 기존에 방식(기기이앙, 모의개수: 포기당 3-4개)으로 재식거리를 30×15 cm로 하여 기기이앙하였으며, 이앙시 기기로 심기 어려운 가장자리의 경우 손으로 이앙하였다.

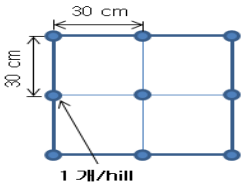
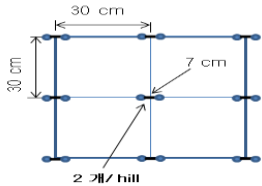
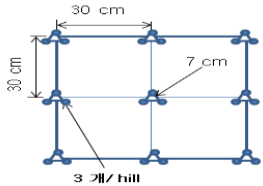



그리고 SRI 시험포(5번, 6번, 7번, 8번) 모내기는 포트내 모의 뿌리가 상하지 않도록 조심스럽게 옮겨 1개씩 직접 손 이앙하였다. 여기서, 5번과 6번 시험포는 재식거리를 30×30 cm로, 7번과 8번 시험포의 재식거리는 40×40 cm로 하였으며 각 시험포를 동일한 크기로 3등분하여 모의개수를 포기당 1개, 2개, 3개 형태로 이앙하였다 (그림 3-3-10).



<그림 3-3-8> 강원영서 및 영동지방 평야지 벼 이앙 적기

	
<p>① 관행 (기기 이앙)</p>	<p>② 관행 시험포 모내기</p>
	
<p>③ SRI 시험포 모내기</p>	<p>④ SRI 시험포 모내기 완료 후</p>

<그림 3-3-9> 관행 및 SRI 시험포 모내기 (2011. 5. 13일)

 <p>30 cm 30 cm 1 개/hill</p>	 <p>30 cm 30 cm 7 cm 2 개/hill</p>	 <p>30 cm 30 cm 7 cm 3 개/hill</p>
		
<p>SRI 원칙에 의거 1주씩 이앙</p>	<p>수정 SRI 2개 이앙</p>	<p>수정 SRI 3개 이앙</p>

<그림 3-3-10> SRI 시험포 벼 이앙 형태

3.3.7 제초작업

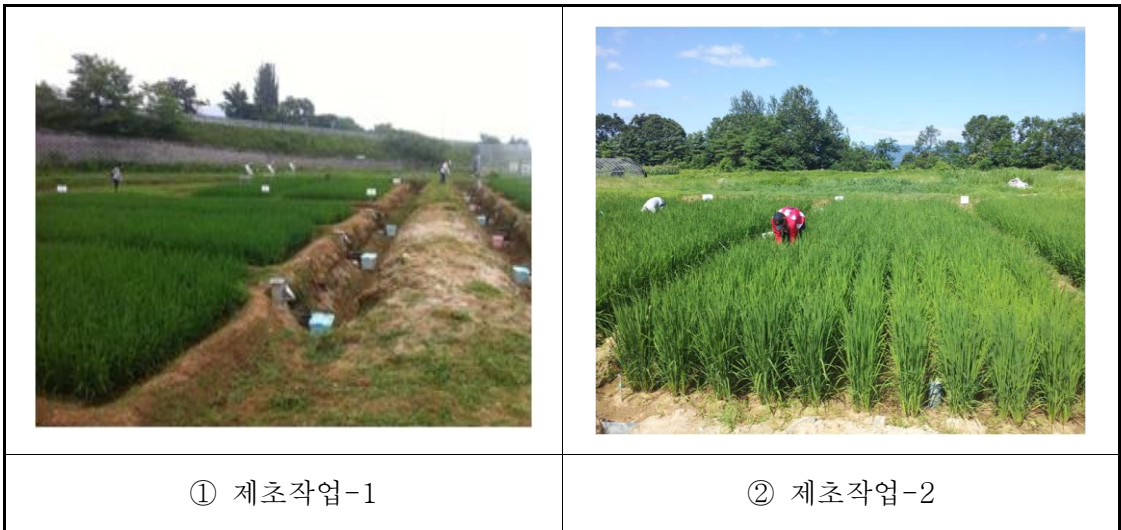
우리나라 농경지 및 생활주변에서 발생하는 잡초는 125과 1,488종으로 자생잡초가 966종이고 귀화 잡초가 315종이며 재배하는 식물이나 작물이 야생상태로 발생하기도 하는 돌출잡초가 167종으로 보고되고 있다. 그중 논에서 발생하는 잡초는 27과 92종이며 실제 논에서 많이 발생하여 벼의 생육과 수량에 크게 영향을 미치고 있는 잡초는 20~30여종에 불과하다(농촌진흥청, 2000).

벼를 재배하는 기간 중에 발생하는 우생잡초는 피.돌피.물달개비.사초류.마디꽃 등이 있다. 발생한 잡초는 기계적, 화학적 방법 그리고 수작업(인력)등을 통해 제거할 수 있으며, 제초제를 사용하는 화학적인 방법이 주로 이용되고 있다. 하지만 사용하는 제초제의 종류에 따라서 잡초의 균락이 바뀌어 가기 때문에 제초제를 사용할 경우 선택에 주의해야 한다. 잡초발생 양상은 벼의 이앙시기, 시비량, 시비방법, 물관리와 재배양식 등에 따라 다를 뿐만아니라 기상조건 및 토양조건에 의해서도 변한다. 관행의 경우와 같이 물을 깊게 델 경우 물에 의한 잡초억제 효과는 크다(농촌진흥청, 2000). 하지만 SRI 시험포의 경우 토양을 호기성 상태로 유지하면서 비담수 형태로 유지하기 때문에 관행에 비해 잡초가 많이 발생한다.

이에 관행시험포의 경우 제초제(론스타)를 이용하여 잡초제거를 1회 실시한데 반해, SRI 시험포의 경우 토양의 통기성 증대등의 목적으로 제초제를 이용하는 대신 직접 수작업으로 시험포별로 2회씩 제초 작업을 실시하였으며, 이후 제초제 적용가능성 평가를 위해 제초제를 1회 사용하였다(3-3-11).

최근 벼농사에 질소비료를 많이 사용하고 밀식하는 농가가 많아지면서 각종 병해충의 발생이 급격히 늘어났으며 저항성품종의 육성.보급과 각종 농약살포에 의한 병충해 방제가 벼농사의 중요한 작업으로 등장하게 되었다. 병충해 방제는 어느 한 가지 방법으로만 이루어질 수 없기 때문에 저항성품종의 선택, 논외 지력증진 및 균형시비를 통한 튼튼한 벼재배, 농약의 공동살포를 통한 농약살포효율의 증진 등의 종합적인 방법을 이용하여야 한다. 병으로는 도열병.잎집무늬마름병.줄무늬잎마름병.흰빛잎마름병 및 오갈병 등이 있으며, 해충으로는 이화명나방.멸구류.매미충류.흑명나방 등이 있다(농촌진흥청, 2000). 본 연구를 진행하는 동안 병해충으로 인

한 피해는 없었으며 이에 농약을 살포하지 않았다.



<그림 3-3-11> 제초작업

3.3.8 관행 및 SRI 시험포 물관리

가. 관행 시험포

관행 시험포(1번, 2번 시험포)의 생육단계별 물관리는 이앙기부터 낙수기까지 기존 관행 방법에 의거해 수행하였으며, 관행 3번 시험포는 기존 관행과 동일하게 담수로 유지하다 중간낙수 2회(1주일/회)를 실시하였다(표 3-3-1).

벼를 재배하는데는 많은 양의 물이 필요하며 특히 논벼는 생육기간 중 황숙기 이후를 제외하고는 거의 물이 있는 상태에서 재배하게 된다. 벼농사에서 물이 필요한 양은 각 생육시기에 따라 다른데 가장 물을 많이 필요로 하는 시기는 수잉기이고 다음이 모내기 직후의 활착기이다. 이에 반하여 무효분얼기에는 극히 적은 물로서도 족하다. 무효분얼기, 즉 출수 전 40~30일에는 물을 빼주는 것이 좋다.

그 후 유수형성기에서부터는 물을 충분히 공급해 주어야 하고 출수 전후 20여 일 동안은 물을 다소 깊게 대 준다. 등숙기간에는 얇게 대 주고 출수 후 30~35일에는 물을 완전히 빼 준다. 한랭지나 이상저온인 해에는 항상 물을 깊게 대주는 것이 냉해를 줄일 수 있는 방법이 된다. 그러나 습답과 같이 물이 잘 빠지지 않는 논은 암

거배수와 같은 방법으로 정체된 물은 빼 주고 새로운 물을 대 주는 것이 수확량 증대에 효과적이며 누수답에서는 물이 너무 잘 빠져 영양분이 다량 손실되므로 객토 및 유기물시용 등의 방법으로 물이 잘 빠지지 않고 지력을 유지할 수 있도록 하는 것이 중요하다.

(표 3-3-1) 관행재배의 생육단계별 물관리

구분	이앙직후 -1주일	이앙후 1 주일 -30일	이앙후37 일- (1주일)	유수형성 기	수잉기	출수개화기 및 결실기	
					출수기15일 전-출수기 10일후	10-30일 (1주일)	30- 35일
관행 (1,2)	6 cm	2 cm	2 cm	2 cm 유지	6 cm	2 츠 유지	완전 물떼기
관행(3)	6 cm	2 cm	중간 낙수	물걸러대 기 0-2 cm	6 cm	중간 낙 수	완전 물떼기

출처: 농촌진흥청

나. SRI 시험포

SRI 시험포의 생육단계별 물관리는 SRI 벼농사를 시행하고 있는 여러 지역의 연구내용들과 미국 코넬대학교 Norman Uphoff 교수가 중국의 논농업지대를 방문하고 조사한 기록들을 참고하여 SRI 원칙에 부합할 수 있도록 물관리를 수행하였다. 관련 자료에 의하면 이앙기부터 영양생장기까지는 최소한의 물만 공급하고 유수형성기부터 출수기에는 얇은 깊이로 담수를 하도록 나와 있다. 노동력을 줄이기 위한 정밀한 물관리의 대안으로 일부의 농민들은 3~5일 주기로 담수와 비담수 간단관개를 하는데 이 방법도 좋은 결과를 나타내고 있다. SRI는 배수가 잘되는 사질토양에서 최대의 효과를 나타내며, 토양의 생물학적 활성도를 증가시키기 위해서는 토양의 유기물 함량의 증대, 배수가 좋으며 토양통기성이 유지될 수 있도록 비료와 물관리를 해야 한다고 한다(출처: ciifad.cornell.edu/sri/methods.html).

본 연구에서는 이러한 내용들을 기초로 모내기 후 초기에는 간단관개로 약 1 cm 깊이로 물을 대고 3~4일 간격 또는 기상조건에 따라 1~2일 간격으로 물관리를 수행

하였다. 그리고 일별 풍속, 일조량 변화등에 따라 토양내 수분함량 변화가 상이하므로 정확한 물관리를 위해 국제미작연구소에서 이용하고 있는 물관리 제어 방법(그림 3-3-12)을 본 연구에 적용하였다(그림 3-3-13).

구멍이 있는 원통형의 장치를 시험포에 압입하고 물이 포화상태(토양표면의 높이와 원통의 수위가 일치)에서 토양표면 아래로 약 15-20cm 내려갔을 때를 기준으로 관개를 시작하여 다시 포화상태로 유지하는 방법으로, 이 방법은 실제 물을 언제, 얼마나 대줘야 하는지 정확히 알 수 있는 효율적인 물관리 방법이다.



<그림 3-3-12> 효율적인 관개를 위한 물관리 제어 장치 (IRRI)



<그림 3-3-13> 효율적인 관개를 위한 물관리 제어 장치 적용

3.4 유량측정 및 시료분석

3.4.1 유량측정

강우시 논 시험포의 유출량을 산정하기 위해 각 시험포에 설치한 플룸별로 수위와 유속을 동시에 측정하고 이를 유량으로 환산하여 각 플룸의 수위-유량곡선을 도출하였다. 해당 시설의 수위와 유량간의 관계를 설정해 놓으면 수위만 자동으로 측정함으로써 유량을 환산할 수 있어 매우 편리하다.

연구 초기 단계에서는 강우시 시험포의 유출구를 막고 물을 저류하여 강우가 끝난후 저류된 양을 측정하여 유출량을 산정하였으며, 독일 OTT 사의 Thalimedes 수위계를 설치한 후부터는 강우시에 5분 간격으로 수위가 자동으로 내장된 데이터 로거에 저장되도록 하여 유량 산정에 이용하였다. 표 3-4-1은 실측수위와 유량 자료를 이용해 도출한 수위-유량 관계식이며, 여기서 Q는 유량(m³/s), H는 수위(m)를 나타낸다. 수위-유량관계식에서 결정계수(R²)는 0.993 이상으로 높게 나타나 강우시 측정된 수위를 수위-유량곡선식에 대입하여 유출량을 산정하는데 이용하였다.

(표 3-4-1) 수위-유량 관계식 및 결정계수

지 점 명	수위-유량 관계식
관행 1 시험포	$Q = 0.247H^{1.812}$ ($R^2 = 0.994$)
관행 2 시험포	$Q = 0.240H^{1.832}$ ($R^2 = 0.994$)
3 시험포	$Q = 0.246H^{1.893}$ ($R^2 = 0.993$)
4 시험포	$Q = 0.245H^{1.877}$ ($R^2 = 0.997$)
SRI 5 시험포	$Q = 0.234H^{1.853}$ ($R^2 = 0.997$)
SRI 6 시험포	$Q = 0.235H^{1.928}$ ($R^2 = 0.996$)
SRI 7 시험포	$Q = 0.244H^{1.858}$ ($R^2 = 0.993$)
SRI 8 시험포	$Q = 0.246H^{1.900}$ ($R^2 = 0.997$)

3.4.2 시료채취 및 분석

본 연구에서는 각 시험포별로 토양시료(표토)를 지그재그형으로 10개 지점에서 약 1 kg 정도 채취하여 10개의 부시료를 하나의 혼합시료로 만들었으며 총 8개의 시료에 대해 pH, 수분함량, 유기물함량, 중금속 등을 분석하였다. 그리고 관개에 이용되는 농업용수(저수지) 및 강우시 발생하는 유출수를 채수하여 수질분석을 실시하였으며, 수질분석항목별(BOD, COD, TN, TP등) 분석방법은 수질오염공정시험방법(환경부, 2007) 및 Standard Method (APHA, 2005)에 의거하여 수행하였다.

이외에도 토양 입도분석을 통해 미국 농무성 삼각좌표법을 이용하여 토성을 분류하였다. 벼의 생육(벼의크기 및 분얼수등) 및 쌀 수량조사는 농업과학기술 연구조사분석기준(RDA, 2003)에 준하여 수행하였으며, 수량은 각 시험포별로 50주를 수확하여 수분함량 15%이하로 건조한 후 칭량하여 ha당 수량으로 환산하였다. 단백질 및 아밀로즈 함량은 쌀품위 자동분석기(Foss Tecator, Sweden)를 이용하여 조사하였으며, 식미치는 백미 33 g을 정량하여 Toyo meter를 이용하여 측정하였다.

그리고 관행논에 설치한 원형의 침투계 및 감수심계의 일별 높이변화를 측정하여 증발산량을 분석하였으며, 주기적으로(오전 10시-11시 채취, 2회/주) 관행 및 SRI 시험포에서 온실가스를 포집하여 Gas Chromatograph (GC, Varian 3800)로 분석하였다.

제 4 장 관행 및 SRI

작물생육모니터링 및 수확량 조사



한국농어촌공사 농어촌연구원



강원대학교

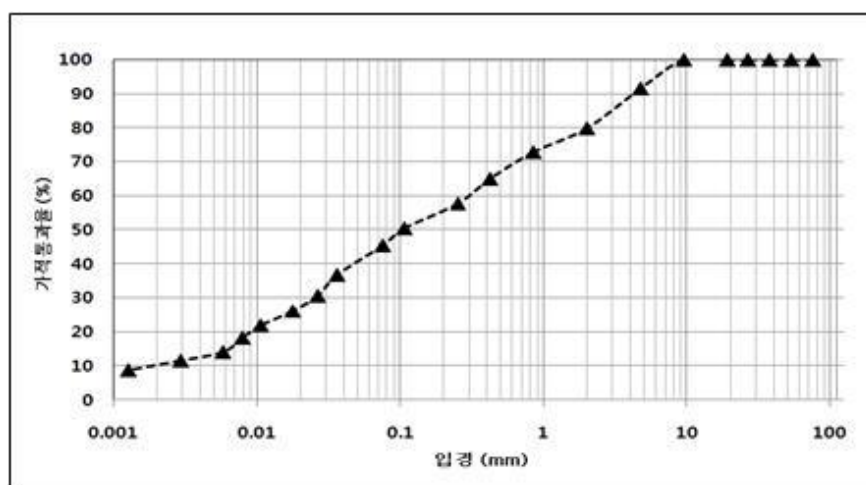
제4장 관행 및 SRI 작물생육모니터링 및 수확량 조사

4.1 토양특성 및 기상현황

4.1.1 토양 특성

논 시험포의 토성(표토)을 알아보기 위해 입도분석(체분석)을 수행하였으며(그림 4-1-1), 입도분석을 통해 점토, 실트 및 모래의 함량으로 미국 농무성의 삼각좌표 분류법을 이용하여 토성을 분류하였다. 통일분류법에서는 균등계수가 4 또는 6보다 크고 곡률계수가 1~3의 범위에 있을 때 입도분포가 양호하다고 분류한다(토질역학, 2010).

본 연구에서 입도실험 자료로 작성한 입경가적곡선의 균등계수(Cu)는 150, 곡률계수(Cg)는 1.13인 것으로 나타나 토양의 입도분포가 양호한 것을 알 수 있다. 입도실험결과 시험토양의 입경분포는 모래 49.4%, 실트 35.8%, 점토 14.8%로 측정되었으며, 삼각분류법에 의한 논 토성은 양토(Loam)로 1차년도 연구결과와 동일한 (모래 49.4%, 실트 35.8%, 점토 14.8%, 양토) 것으로 나타났다(표 4-1-1). 토양 입경분포는 일반적인 우리나라 논토양 입경분포(표토: 모래 34.8%, 실트 45.4, 점토 20.2%, 양토)에 비해 모래성분이 13.8% 높은 것으로 조사되었다.



<그림 4-1-1> 토양 입도 분포도

(표 4-1-1) 논토양의 토성

구분		입경분포(%)			토성
		모래(Sand)	미사(Silt)	점토(Clay)	
국내		34.8	45.4	20.2	양토(Loam)
본 연구	2010 년	49.4	35.8	14.8	양토(Loam)
	2011 년	48.6	33.8	17.5	양토(Loam)

4.1.2 토양성분 함량 변화

실험에 이용한 시험포의 초기토양은 평균 $21.6 \pm 2.3\%$ 의 수분을 포함하고 있으며, 유기물함량(Organic matter, OM)은 19 ± 1.2 g/kg, pH는 5.9 ± 0.4 로 측정되었다. 그리고 교환성 양이온의 경우 Ca는 5.1 ± 0.5 cmol/kg, Mg는 1.9 ± 0.3 cmol/kg 그리고 K는 0.4 ± 0.05 cmol/kg로 측정되었다. 하지만 벼재배를 위한 논토양 성분 중 유기물, 유효인산 및 규산의 함량이 최적범위 보다 낮은 값을 나타내어 지렁이 분변토(OM: 376 g/kg, 유효인산: 750 mg/kg, 유효규산: 2062 mg/kg)를 각 시험포 별로 1 ton 씩 주입하였으며, 주입 후 논토양의 성분변화는 표 4-1-2에 나타내었다.

그리고 연구기간동안 시험포의 토양 성분 변화를 시기별로 분석하여 표 4-1-3에 제시하였다. 초기토양(분변토 주입후)과 운전기간 중 그리고 수확 이후 토양의 함량변화를 살펴보면 토양 pH는 시험전에 비해 모든 재배양식에서 낮아졌으며, 유기물함량도 다소 낮아진 경향을 보이는 것으로 나타났다.

유효인산함량은 시험전에 비해 증가하였는데, 특히 SRI 시험포에서 두배 이상 증가하는 특징을 보였다. 인산은 토양에 강한 흡착성을 보이며, 담수상태의 환원층에서 가용화된 많은 부분의 인산이 심토의 산화층을 통과하면서 철, 알루미늄등과 결합하여 다시 고정되는 특징을 지닌다. 따라서 SRI는 관행에 비해 지하로 침투되는 수분이 많아서 인산의 흡착을 조장하여 함량을 증가시킨 것으로 판단된다(김춘송 등, 2007). 교환성양이온 및 중금속 항목은 대체적으로 감소하는 경향을 나타내었으며, 전체 시험포에서의 중금속 함량은 검출기준 이하인 것으로 나타났다.

(표 4-1-2) 초기 논토양의 성분함량

구분	pH	OM (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	유효규산 (mg/kg)	교환성 양이온(cmol/kg)			
					Ca	Mg	K	
최적범위	6.0-6.5	25-30	80-120	130-180	5.0-6.0	1.5-2.0	0.25-0.30	
본 연 구	2010	6.1±0.2	25	-	-	4.6±0.2	1.7±0.3	0.28±0.1
	2011 (분변토 주입전)	5.9±0.4	19±1.2	76±7	103±17	5.1±0.5	1.9±0.3	0.4±0.05
	2011 (분변토 주입후)	6.3±0.2	28±1.0	135±7	163±23	6.0±0.3	1.9±0.2	0.5±0.06

(표 4-1-3) 각 시험포의 논토양 성분함량 변화

구분	초기토양 (분변토 주입후, 모내기전) (5월 5일)									
	관행 모내기				SRI, 30×30 cm		SRI, 40×40 cm		평균	
	관행 (1)	관행 (2)	중간 낙수 2 회 (3)	SRI 물관리 (4)	SRI (5)	SRI (6)	SRI (7)	SRI (8)		
pH	6.3	6.4	6.3	6.2	6.4	6.4	5.7	6.4	6.3	
OM (g/kg)	29.2	27.2	27.7	30.0	27.8	28.0	28.1	27.4	28	
유효인산 (mg/kg)	136	124	140	145	141	135	125	133	135	
유효규산 (mg/kg)	163	210	179	159	153	159	144	139	163	
교환성 양이온 (cmol/kg)	Ca	6.2	6.5	6.0	6.0	6.2	5.8	6.0	5.6	6.0
	Mg	1.7	2.2	1.8	1.7	1.9	2.0	1.7	1.8	1.9
	K	0.53	0.42	0.40	0.42	0.43	0.55	0.49	0.48	0.5
중금속 (mg/kg)	Cr < 4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	Cu < 50	11.4	11.5	6.8	7.7	10.1	8.1	10.4	9.6	9.4
	Cd < 1.5	0.08	0.09	0.07	0.07	0.10	0.08	0.01	0.09	0.09
	Zn < 300	19.6	21.3	9.6	10.7	17.3	11.5	17.4	17.0	15.5
	Ni < 40	0.65	0.65	0.50	0.55	0.65	0.60	0.80	0.70	0.64
	Pb < 100	11.5	9.8	10.4	11.6	9.4	9.6	8.2	8.3	9.9
	As < 6	2.7	2.4	1.8	2.2	2.5	2.2	2.5	2.6	2.4
Hg < 4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	

N.D.: Not detected

(표 4-1-3) 각 시험포의 농토양 성분함량 변화 (계속)

구분		모내기 이후 (7월 20일)								평균
		관행 모내기				SRI, 30×30 cm		SRI, 40×40 cm		
		관행 (1)	관행 (2)	중간낙 수 2회 (3)	SRI 물관리 (4)	SRI (5)	SRI (6)	SRI (7)	SRI (8)	
pH		5.9	6.0	5.8	6.0	6.4	5.9	5.9	6.0	6.0
OM (g/kg)		24.8	26.2	21.7	19.9	27.1	27.5	23.7	26.5	25
유효인산 (mg/kg)		130	112	118	108	140	134	109	93	118
유효규산 (mg/kg)		139	130	129	119	166	123	161	103	134
교환성 양이온 (cmol/kg)	Ca	5.6	5.7	5.7	5.5	6.2	6.3	6.2	5.6	5.9
	Mg	1.3	1.6	1.6	1.3	1.9	2.0	1.6	1.8	1.6
	K	0.42	0.40	0.31	0.33	0.32	0.50	0.49	0.48	0.4
중금속 (mg/kg)	Cr < 4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	Cu < 50	8.3	8.2	9.5	6.5	11.5	9.6	11.3	8.0	9.1
	Cd < 1.5	0.07	0.07	0.06	0.06	0.09	0.10	0.10	0.08	0.08
	Zn < 300	25.5	20.5	15.3	8.7	22.9	14.8	23.9	11.4	17.9
	Ni < 40	0.60	0.60	0.70	0.50	0.60	0.60	0.80	0.65	0.63
	Pb < 100	12.3	10.6	10.5	11.7	7.8	8.3	7.9	9.6	9.8
	As < 6	2.1	2.0	2.4	1.8	2.9	2.6	2.8	2.1	2.4
	Hg < 4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

N.D.: Not detected

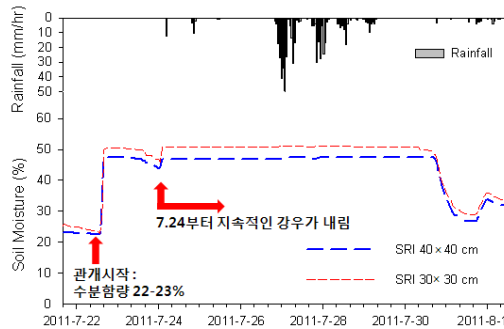
(표 4-1-3) 각 시험포의 논토양 성분함량 변화 (계속)

구분		수확 이후 (9월 7일, 9월 14일)								
		관행 모내기				SRI, 30×30 cm		SRI, 40×40 cm		평균
		관행 (1)	관행 (2)	중간 낙수 2회 (3)	SRI 물관리 (4)	SRI (5)	SRI (6)	SRI (7)	SRI (8)	
pH		5.6	5.7	5.7	5.8	5.8	5.8	5.8	5.9	5.8
OM (g/kg)		26.4	26.2	21.0	25.7	22.5	25.7	22.1	25.2	24.4
유효인산 (mg/kg)		175	162	232	290	286	294	289	317	256
유효규산 (mg/kg)		102	105	101	128	104	117	108	123	111
교환성 양 이온 (cmol/kg)	Ca	5.5	5.3	5.6	5.4	5.8	5.9	5.9	5.5	5.6
	Mg	1.6	1.6	1.8	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7
	K	0.34	0.35	0.28	0.30	0.36	0.44	0.35	0.38	0.35
중금속 (mg/kg)	Cr < 4	0.2	N.D.	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	Cu < 50	8.1	9.5	9.4	9.5	8.6	9.6	8.7	8.7	9.0
	Cd < 1.5	0.09	0.09	0.10	0.13	0.09	0.09	0.10	0.11	0.10
	Zn < 300	18.5	15.0	16.4	19.2	12.7	15.8	18.3	10.2	15.7
	Ni < 40	0.88	0.80	0.75	0.98	0.76	0.75	0.78	0.80	0.81
	Pb < 100	10.9	11.2	9.2	7.1	8.3	8.3	7.5	7.6	8.8
	As < 6	2.1	2.0	2.4	2.4	2.2	2.3	2.3	2.1	2.2
Hg < 4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	

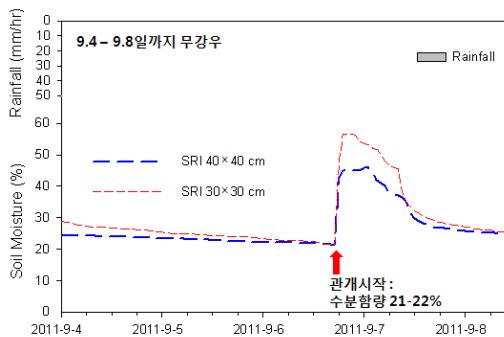
N.D.: Not detected

4.1.3 토양수분 함량 변화

TDR 장비를 이용하여 토심 15 cm 깊이(표토)에서 토양수분을 측정하여 수분변화를 관측한 결과를 그림 4-1-2에 나타내었다. 관개시 토양수분은 약 21-23%의 범위내에 있는 것으로 나타났으며, 이때의 눈 수위측정 장치의 물높이는 눈 표면(기준점 0, 포화상태)을 기준으로 아래로 약 15-20 cm 정도인 것으로 조사되었다. 강우 및 관개 후 토양함수량은 급격히 증가하며 종료된 시점으로부터 서서히 감소하는 경향을 보이는 것으로 나타났다.



(a) 7월 21일 - 8월 1일

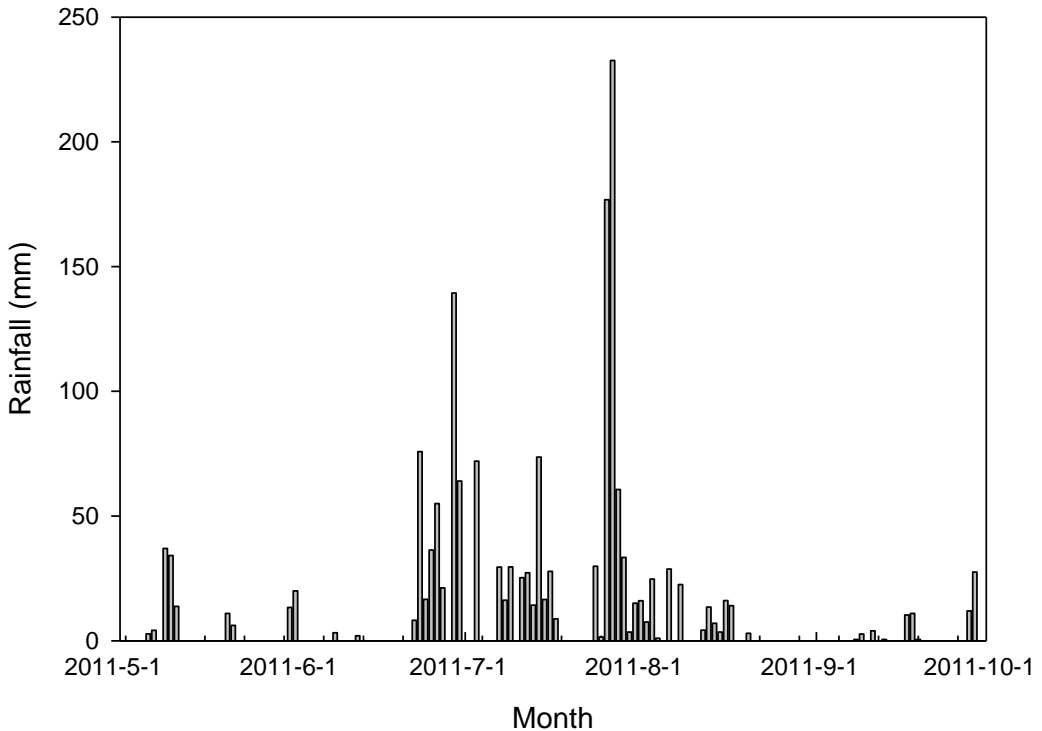


(b) 9월 4일 - 8일

<그림 4-1-2> 토양수분변화

4.1.4 기상(강우량)현황

모내기를 실시한 5월 13일 이후 시험포가 위치한 춘천시 신북읍 강원대학교 농장에는 총 48회에 걸쳐 비가 내렸으며, 이 중 20 mm 이상의 강우는 22회 발생하였다. 연구기간동안 일 강우량은 0.3 mm에서 232.6 mm의 범위로 큰 차이를 보였다(그림 4-1-3, 표 4-1-4). 특히, 6월 22일 이후 약 8일동안 지속적인 강우로 인해 400 mm 이상의 폭우가 내렸으며, 7월 24일부터 4일동안 약 500 mm 이상의 기록적인 강우를 나타내었다. 유출계수는 관행 시험포의 경우 0.83-0.96의 범위를 보였으며, SRI 시험포는 0.70-0.89의 범위를 나타내었다.



<그림 4-1-3> 연구대상지역의 일강우 분포도

(표 4-1-4) 연구대상지역의 일별 강우사상 (단위: mm)

	5월	6월	7월	8월	9월
1일	0.2	<u>20.0</u>		16.0	
2일				7.5	
3일			<u>72.0</u>	<u>24.7</u>	
4일				1.0	
5일					
6일	2.8			28.7	
7일	4.2		<u>29.5</u>		
8일		3.2	<u>16.3</u>	22.5	수확 0.5
9일	37.0		<u>29.6</u>	0.3	2.8
10일	34.2				
11일	13.8		<u>25.3</u>		4.0
12일		2.0	<u>27.3</u>	4.3	
13일	모내기		<u>14.3</u>	13.5	0.5
14일			<u>73.7</u>	7.0	
15일			<u>16.6</u>	3.5	
16일			<u>27.9</u>	<u>16.2</u>	
17일			8.8	<u>14.1</u>	10.3
18일					11.0
19일					0.5
20일	11.0			3.0	
21일	6.2				
22일		8.2		0.3	
23일		<u>75.8</u>			
24일		<u>16.6</u>	29.9		
25일		<u>36.4</u>	1.5		
26일		<u>55.0</u>	<u>176.8</u>		
27일		<u>21.2</u>	<u>232.6</u>		
28일			<u>60.7</u>		11.9
29일		<u>139.4</u>	<u>33.4</u>		27.5
30일		<u>64.0</u>	3.5		
31일	<u>13.4</u>		15.0		
총 계	122.8	441.8	894.7	162.6	69.0

* 진하며 밑줄친 부분은 강우 모니터링을 실시한 날짜임

4.2 관개용수 수질현황 및 사용량

4.2.1 관개용수 수질현황

최근 농어촌의 사회·생활환경 변화 등으로 농업용수원의 수질오염이 가속화되고 있는데 이는 주로 유기오염물질로서 부영양화 현상 등을 가져와 용수원으로서의 질적 저하를 초래하고 있으며, 현행 환경정책기본법의 수질기준 IV등급(농업용수 적용)을 초과하는 용수원이 증가하고 있는 실정이다. 2001 농업용수 측정망(492개소) 조사결과에 의하면 중부영양호~부영양호 56.5%(278 개소)로 절반 이상이 부영양화 단계에 있으며, 수질기준 IV등급이상 17.3%(85 개소)정도인 것으로 보고되고 있다(농림부, 2001).

관개용수의 수질은 작물의 생육, 수량 및 품질에 직접적인 영향을 줄 뿐만 아니라 토양의 이화학적 및 생물학적 성질에 영향을 주어 직·간접적으로 농업생산 및 농업활동에 크게 영향을 미치게 된다. 농업용수의 수질관련 피해는 도시폐수의 혼입이 많은 경우에 크게 발생하며, 질소과다의 경우에는 벼의 도복 및 생육장해를 초래한다. 농업용수의 오염으로 인해 작물생육 및 생산물등에 직접적으로 피해를 주기 때문에 작물재배에 있어 기준치에 적합한 농업용수를 사용하는 것은 매우 중요하다.

이에 본 연구에 사용한 농업용수(저수지)가 수질 기준치에 적합한지 여부를 알아보기 위해 연구기간동안 주기적으로 시료를 채취하여 농업용수의 수질을 분석하였다. 연구에 사용한 농업용수 수질측정 결과 국내 농업용수 기준(표 4-2-1, 표 4-2-2)에 전체적으로 부합하는 것으로 나타났으며(관개배수공학 2006; 농촌진흥청, 2008), 국내 농업용수 수질(전국평균) 값과 거의 유사한 것으로 나타나 농업용수로 사용하는데 큰 지장이 없는 것으로 판단된다.

(표 4-2-1) 농업용수 수질기준(수자원별 기준)

수질항목	하천	호소	지하수
pH	6.0 ~ 8.5	6.0 ~ 8.5	6.0 ~ 8.5
BOD (mg/L)	8	-	-
COD (mg/L)	-	8	8
SS (mg/L)	100	15	-
DO (mg/L)	≥ 2	≥ 2	-
T-N (mg/L)	-	1.0	-
T-P (mg/L)	-	0.1	-

출처: 농촌진흥청(2008)

(표 4-2-2) 농업용수 수질측정 결과 비교

수질항목	기준값		국내 농업용수 수질현황 (전국평균)	본 연구	
	한국	일본		2010년 (n=6)	2011년 (n=8)
pH	6.0 ~ 8.5	6.0 ~ 7.5	7.8	7.2 ± 0.1	7.5 ± 0.3
BOD (mg/L)	8 이하	8 이하	-	1.6 ± 1.1	2.3 ± 0.5
COD (mg/L)	8 이하	6 이하	4.5	4.9 ± 0.8	5.3 ± 1.2
SS (mg/L)	100 이하	100 이하	-	16.1 ± 3.3	12.9 ± 7.3
DO (mg/L)	≥ 2	≥ 5	9.4	8.4 ± 0.2	8.6 ± 0.4
T-N (mg/L)	-	1 이하	2.269	2.067 ± 0.1	1.93 ± 0.4
T-P (mg/L)	-	-	0.055	0.084 ± 0.01	0.064 ± 0.01

출처: 관개배수공학(2006), 농촌진흥청(2008)

4.2.2 관개용수 사용량

가. 증발산량 측정 결과

침투량과 감수심은 원통형 감수심계(직경 300 mm, 길이 300 mm)와 침투량계(직경 200 mm, 길이 300 mm)를 눈에 200 mm 압입하여 측정하였다. 증발산량(evapo-transpiration: ET)은 증발산을 일으키는 기상상태와 물을 소비하는 작물과 포장상태에 따라 결정된다. 눈에서의 증발산량은 단위 구획의 눈에서 순수히 소비되는 기본적인 양으로 식물체가 체표면으로부터 방출하는 수분량인 증산량과 경지(혹은 담수)면으로부터 증발하는 수분량인 증발량으로 구성된다. 증발산량은 벼가 성장함에 따라 점점 증가하여 생육단계가 다르더라도 7월 하순~8월 상순에 최대값을 보이고 생육단계의 차이보다는 기상조건에 의해 크게 영향을 받는다.

관개기간의 총 증발산량은 관개기간을 100일로 한 경우 440~550 mm 정도이며 1일 평균량은 4~5 mm, 1일 최대량은 8.5 mm이다(관개배수공학, 2006). 본 연구기간동안 눈 시험토의 침투량, 감수심 및 증발산량은 총 9회 측정하였으며, 1일 평균증발산량은 4.6 mm (감수심 4.9 mm, 침투량 0.3 mm)인 것으로 나타났다(표 4-2-3).

(표 4-2-3) 눈 시험토의 증발산량

측정번호	측정일	침투량 (mm/d)	감수심 (mm/d)	증발산량 (mm/d)
1	5.15-19	0.4	5.3	4.9
2	5.24-26	0.5	5.5	5.0
3	5.27-30	0.5	5.7	5.2
4	6.4-6	0.3	5.0	4.7
5	6.9-12	0.2	5.0	4.8
6	6.14-18	0.2	5.3	5.1
7	7.18-21	0.5	4.7	4.2
8	8.24-27	0.2	4.0	3.8
9	9.1-4	0.3	3.7	3.4
평균		0.3	4.9	4.6

나. 관개용수 사용량 산정

관개는 작물의 생육에 필요한 수분을 인위적으로 공급하고, 저온을 조절하여 작물에 최적의 생육환경을 조성하기 위해 필요하다. 논벼재배에 필요한 관개는 지역별, 시기별로 다소 차이를 보이고 있으나, 대체적으로 4월 중순부터 못자리용수를 공급하기 시작하여 9월 말경에 종료하게 된다. 관개량은 작물의 생육단계에 따라 시기별 변화를 많이 보이고 있으며, 5월 중하수 이양기에 상대적으로 많은 양의 물을 관개하게 되므로, 이 시기의 관개량이 용수시설의 규모 결정에 이용되기도 한다(한국현, 2003).

소비수량은 작물의 생장에 필요한 수량으로 [증발산량] + [작물생체수량]을 말하나, 후자는 거의 무시할 수 있는 수량이므로 일반적으로 증발산량과 같게 취급한다. 필요수량은 작물의 정상적인 생육하에서 논 토층에서 소비되는 수량을 말한다. 논관개에서의 필요수량은 감수심을 말하며 [증발산량] + [침투량]으로 구성된다(관개배수공학, 2006). 벼농사 기간동안에 있어서 일반적으로 관개해야 할 물량은 총 소비수량에서 논에서 이용되는 부분(유효우량: available rainfall)을 뺀 나머지 부족수량이 관개용수량에 해당한다.

우리나라 벼농사(관행)에 있어서 필요한 관개수량은 표 4-2-4와 같으며 총 용수량에서 유효강우량을 제외한 값으로 대략 1,100 mm 정도가 된다. 하지만 당해연도(2011년)의 경우 영농기간(5월-9월) 중 비가 자주 내리고 강수량도 많아 실제 관행시험포에서 사용한 관개용수량은 약 720 mm 정도 인 것으로 산정되었다. 2010년 강수량은 총 1,580 mm 정도인데 반해 당해연도의 경우 영농기간(5월-9월) 동안의 강수량만 1,700 mm 이상인 것으로 나타났다.

연구기간동안 관행 및 SRI 시험포에서 관개기간 중 사용한 시기별 관개용수량을 표 4-2-5에 나타내었다. 시기별 용수사용량은 관행시험포(상시답수)의 경우 썬레질 용수량을 제외한 총 용수사용량이 46.6 m³ (719 mm)으로 나타났으며, 중간낙수 2회의 관행시험포는 39.5 m³ (610 mm), 관행모내기+SRI 물관리의 경우 24.5 m³(378 mm) 그리고 SRI 시험포의 경우 23.6 m³ (365 mm)으로 나타나 관행대비 각각 15.2%, 47.4%, 49.4%의 농업용수를 절감한 것으로 분석되었다.

최근 SRI 관련 발표 자료(호주학회 19차 WCSS 발표자료집, 2010)에 의하면 작은시험포의 경우 논두렁으로 침투되는 양이 많아 관개용수 사용량이 과다하게 측정될 수 있다고 보고하고 있어 이에 당해연도(2011년)에는 논 독으로의 횡침투량을 최소화하기 위해 비닐설치작업을 수행하고 연구를 진행하였다. 정비후에도 SRI 시험포의 경우 평균 47-49%의 높은 관개용수 절감율을 나타내어 관개용수 절감에 있어 SRI 벼재배가 매우 효과적임을 입증하였다.

(표 4-2-4) 우리나라 벼농사에 있어서 관개수량

구 분	수 량 (mm)	비 고
관개기간중 강우량	650	
유효강우량	455	650 mm × 0.7 (70%)
증발계 총 증발량	500	관개기간중 100일 기준 (440~550 mm)
엽면증산량 및 답면증발량	875	500 mm × 1.75
지하침투량	650	

※ 총 용수량 = 엽면증산량 + 답면증발량 + 지하침투량
 (1,525 mm) = (494 mm) + (381 mm) + (650 mm)

※ 관개수량(1,070 mm) = 총용수량(1,525 mm) - 유효강우량(455 mm)

출처: 강원도농업기술원, 농촌진흥청(2000), 관개배수공학(2006)

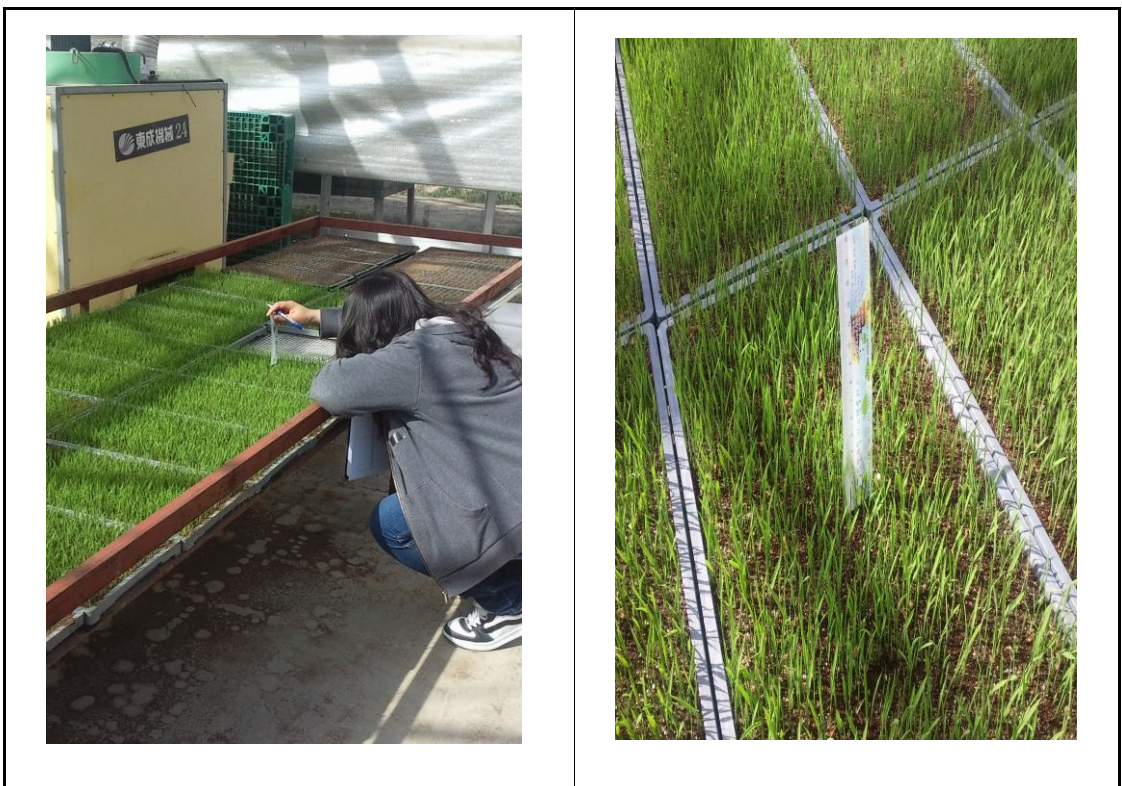
(표 4-2-5) 각 시험포별 관개용수 사용량

시기	용수량	시기별 평균 용수량(m ³)			
		관행(상시답수)	관행(중간낙수 2회)	관행+SRI물관리	SRI
5.10 -5.13 (씨레질용수량)		16.5	14.5	15.0	9.7
5.14- 5.20		5.0	4.8	2.6	2.5
5.20- 5.31		7.2	7.4	3.9	3.7
6.1 - 6.10		12.2	10.5	5.4	4.8
6.11 - 6.30		11.7	7.7	5.9	5.7
7.1 - 7.31		5.6	5.2	3.6	3.8
8.1 - 8.31		4.9	3.9	3.1	3.1
총 용수사용량(m ³)		46.6	39.5	24.5	23.6
관행대비 절감율(%)			15.2	47.4	49.4

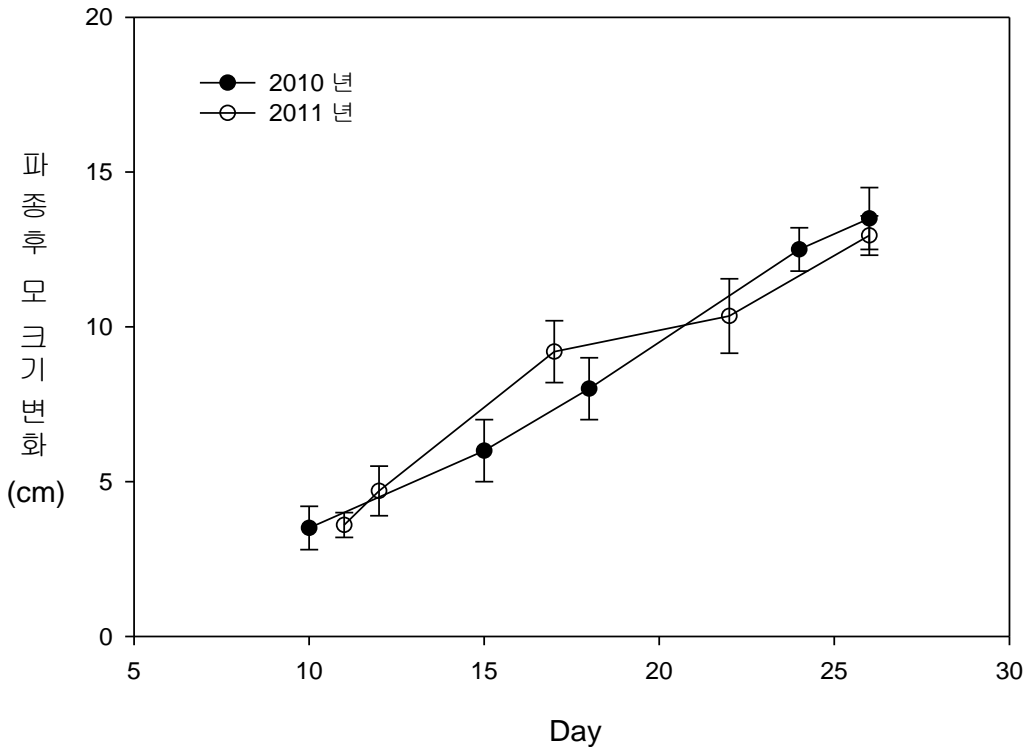
4.3 절 관행 및 SRI 작물 생육모니터링

4.3.1 파종 후 모의 크기 변화

파종(4월 22일) 후 관행(상자재배) 및 SRI(포트재배) 모의 크기 변화를 주기적으로 측정하였다(그림 4-3-1). 관행 모의 크기는 파종후 26일을 기준(2011년)으로 13.0 ± 0.6 cm인 것으로 나타났으며, 동일시기의 1차년도(2010년) 관행의 모 크기와 (13.5 ± 1.0 cm)와 유사한 평균값을 보였다(그림 4-3-1).



<그림 4-3-1> 파종 후 모 크기변화 측정



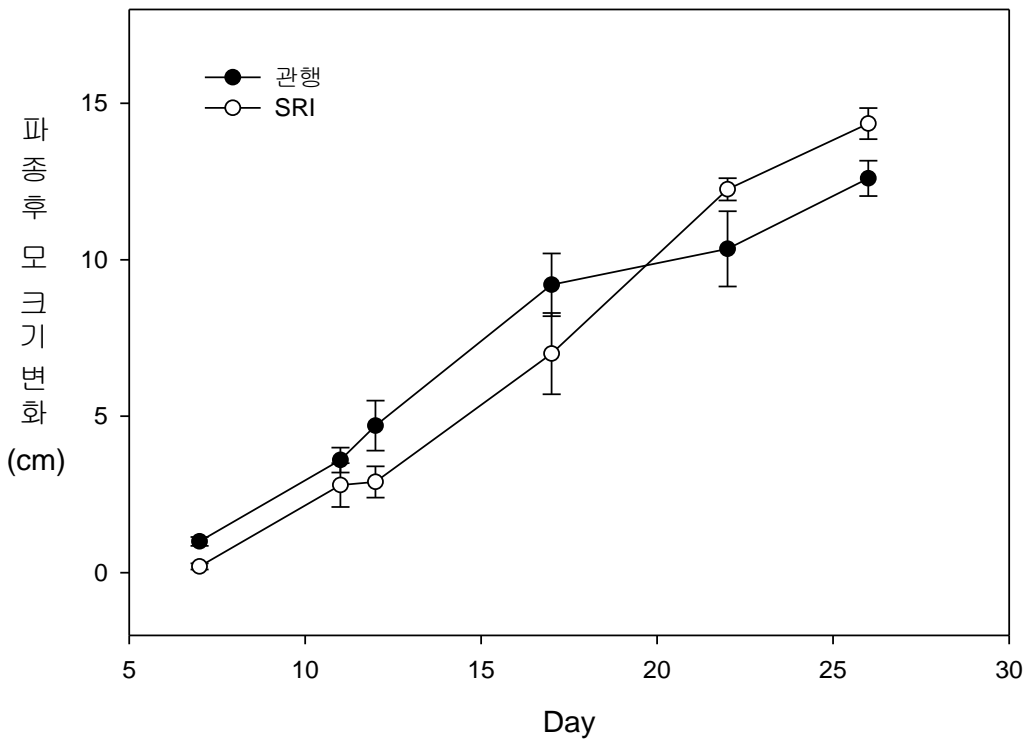
<그림 4-3-2> 관행 모 크기변화 비교 (2010년 & 2011년)

그림 4-3-3에는 관행 및 SRI 모의 크기 변화를 비교하여 나타내었다. 파종 10일 후 관행의 모는 평균 3.6 ± 0.4 cm, SRI의 모는 2.8 ± 0.7 cm로 초기에는 관행의 모가 SRI에 비해 약 1.3배 이상 큰 것으로 나타났다($p < 0.05$). 하지만 파종 후 20일을 기준으로 SRI 모의 크기가 관행에 비해 급격히 증가하는 것을 볼 수 있으며, SRI 모의 상태를 관찰한 결과 크기뿐만 아니라, 분얼수 그리고 뿌리의 발달이 관행에 비해 월등히 우수한 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 1차년도 연구와 동일한 것으로 나타났다(그림 4-3-4).

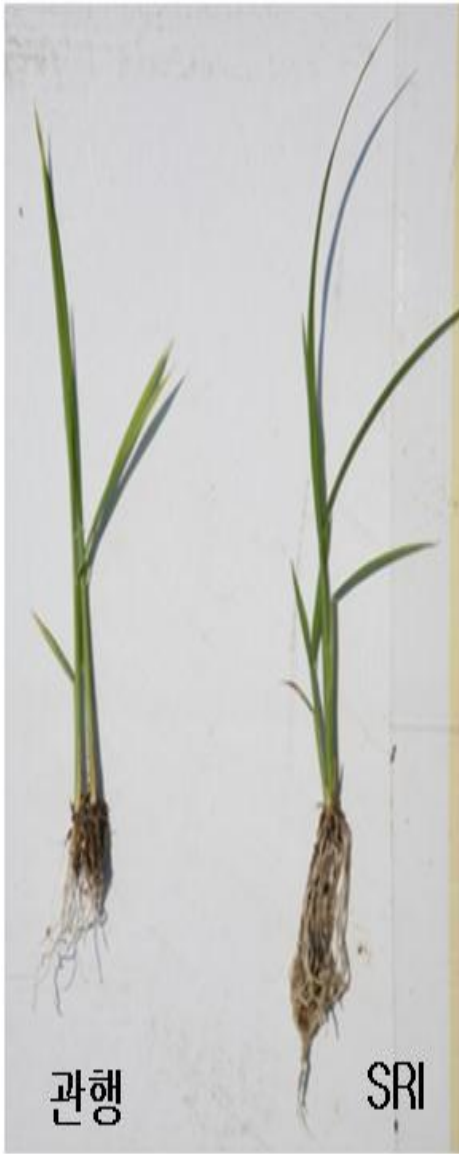
1차년도(2010년) 연구에서는 파종 후 약 30일 후에 이앙을 실시하여 SRI 원칙 중에 하나인 어린모(5~7 cm) 이앙 조건보다 큰 모(평균 18 cm)를 사용하였다. 이에 당해연도(2011년) 연구에서는 SRI 원칙에 부합할 수 있도록 어린모를 이앙하려 했으나 파종시 오대뽕씨의 불량 문제로 인해 이앙시기가 늦어진 것이 원인이 되어 파

중(4월 22일) 후 21일 후에 이앙(5월 13일)을 실시하였으며, 이앙시 SRI 모의 크기는 그림 4-3-3에서도 볼 수 있듯이 평균 10 cm 정도로 SRI 원칙 중에 하나인 어린모 이앙 조건보다 다소 큰 것을 사용하였다. SRI 원칙에 부합하도록 어린모 (5~7 cm)를 이앙하려면 그림 4-3-3에서 볼 수 있듯이 파종 후 분얼과 생장성장이 본격화되기 전인 15일 이내에 이앙을 해야 하는 것으로 나타났다.

SRI 원칙을 준수하여 어린모를 재배할 경우 다음과 같은 장점이 있다. 어린모는 중모보다 모내기 시의 배유양분의 잔존량이 절반정도로 많이 남아 있어 이앙 직후에 몸살 없이 활착된다. 또한 어린모는 이앙 후에 환경적응성이 뛰어나고 또한 침수시 재생능력이 강하며, 첫 분얼발생 마디가 중모보다 낮은 마디에서 시작하므로 분얼발생에 유리한 특성도 있다. 게다가 어린모는 육묘일수가 훨씬 짧으므로 중모의 육묘기간 중 발생하기 쉬운 뜰묘 및 모잘록병 발생의 위험이 적다.



<그림 4-3-3> 파종 후 관행 및 SRI 모의 크기변화 비교 (2011년)



1차년도 (2010년) - 파종 후 약 30일



당해연도(2011년) - 파종 후 약 20일

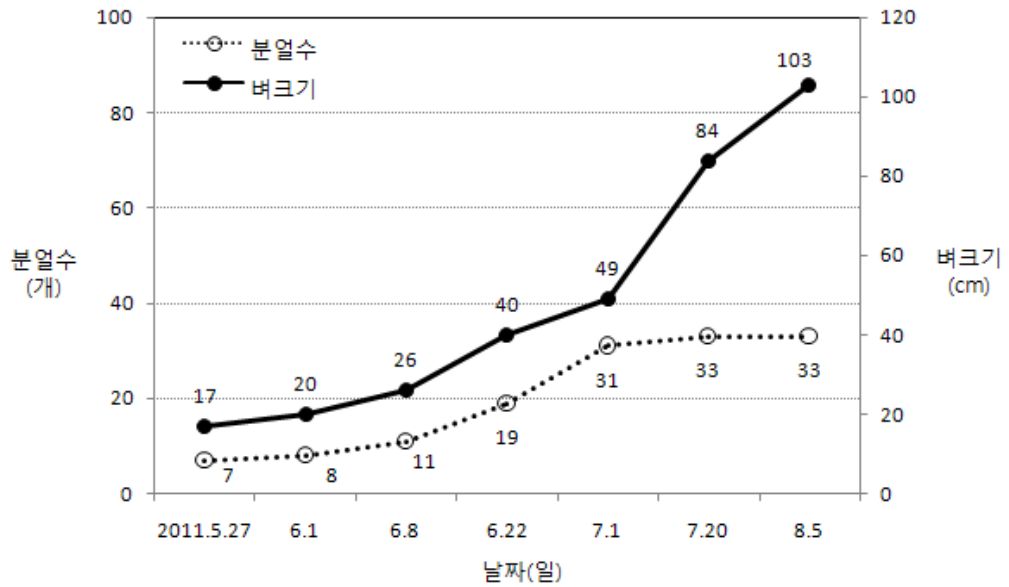
<그림 4-3-4> 관행 및 SRI 모의 크기, 뿌리발달, 분얼수 비교(2010년 & 2011년)

4.3.2 관행 및 SRI의 분얼수 및 벼크기 변화

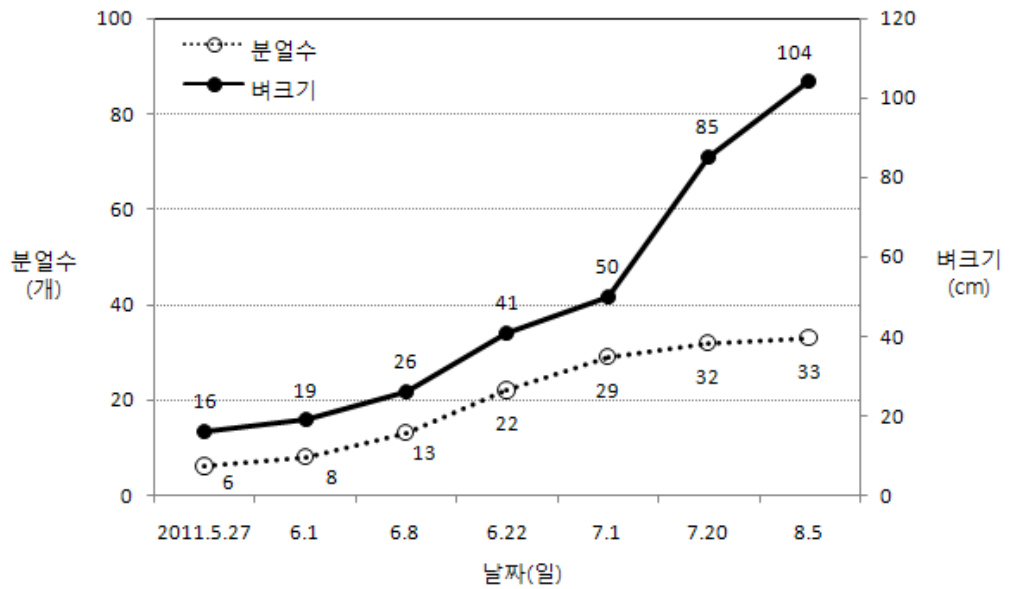
벼 이앙 후부터 관행 및 SRI 시험포내 벼의 분얼수 및 벼크기 변화를 계속적으로 측정하였으며 그림 4-3-5~20에 제시하였다. 분얼수는 7월 20일을 기점으로 최고분얼수를 나타내다가 이후 감소하는 경향을 보였으며, 벼크기는 계속 증가하는 경향을 나타내었다. 그리고 표 4-3-1에 동일 처리 조건별로 분얼수 및 벼크기 변화를 평균하여 나타내었다. 관행에 비해 SRI가 분얼수(7월 20일 기준)는 33개에서 41-64개, 벼크기는 104cm에서 106-112cm로 증가하고 있는 것으로 나타났으며, SRI의 분얼수는 관행 대비 최대 1.9배(최소 1.2배) 이상, 벼크기는 최대 약 8 cm 높은 수치를 나타내었다.

그리고 SRI 시험포의 경우 전체적으로 심은 모의 개수가 증가할수록 분얼수와 벼크기 값도 증가하는 경향을 보였다. 동일한 관행 모내기후 물관리 방법을 달리했을 경우에도 분얼수와 벼크기가 33개에서 최대 37개, 104 cm에서 108 cm로 나타나 물관리방법에 따라서도 생육에 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

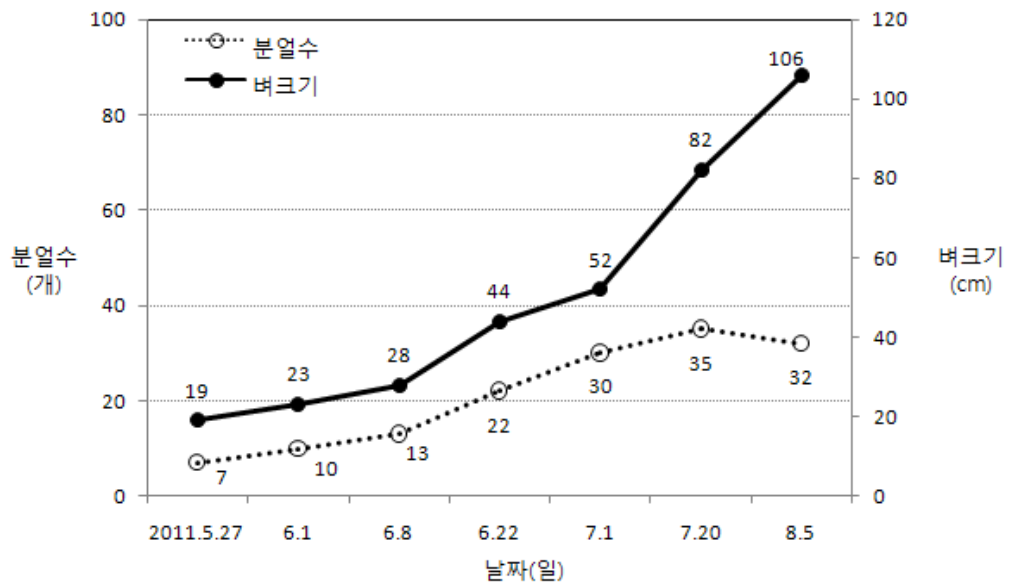
또한, 전체적으로 SRI 시험포에서 재식거리가 클수록 분얼수 및 벼크기가 가장 높은 값을 나타내었는데, 이 결과는 각기 다른 재식거리에서 SRI 시험포에 벼를 재배하여 재식거리별 분얼수 및 벼크기 분석 결과 재식거리가 큰 시험포에서 가장 높은 값을 보인 연구결과와 동일한 것으로 나타났으며(Thakur et al., 2010), 이앙시 재식거리가 넓을수록 벼의 분얼수 및 뿌리성장에 있어 더 효과적이라고 보고한 연구와도 일치한다(Satyanarayana, 2005). 전체적으로 SRI 시험포가 관행에 비해 분얼수 및 벼크기가 큰 것으로 나타났으며, 이에 SRI 재배가 관행에 비해 작물생육에 있어 더 효과적인 것으로 판단된다.



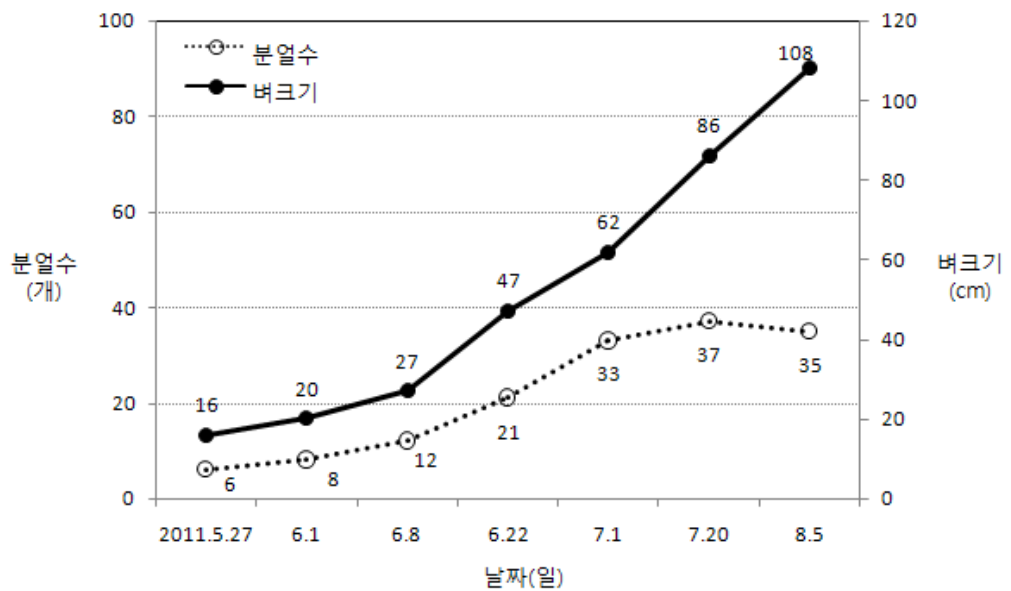
<그림 4-3-5> 분얼수 및 벼크기 변화(관행 1번 시험포)



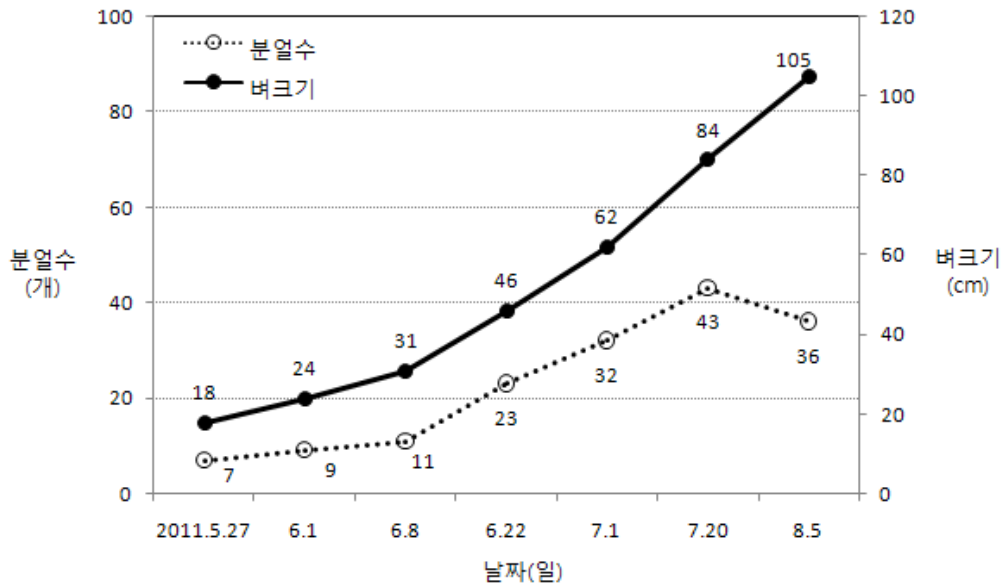
<그림 4-3-6> 분얼수 및 벼크기 변화(관행 2번 시험포)



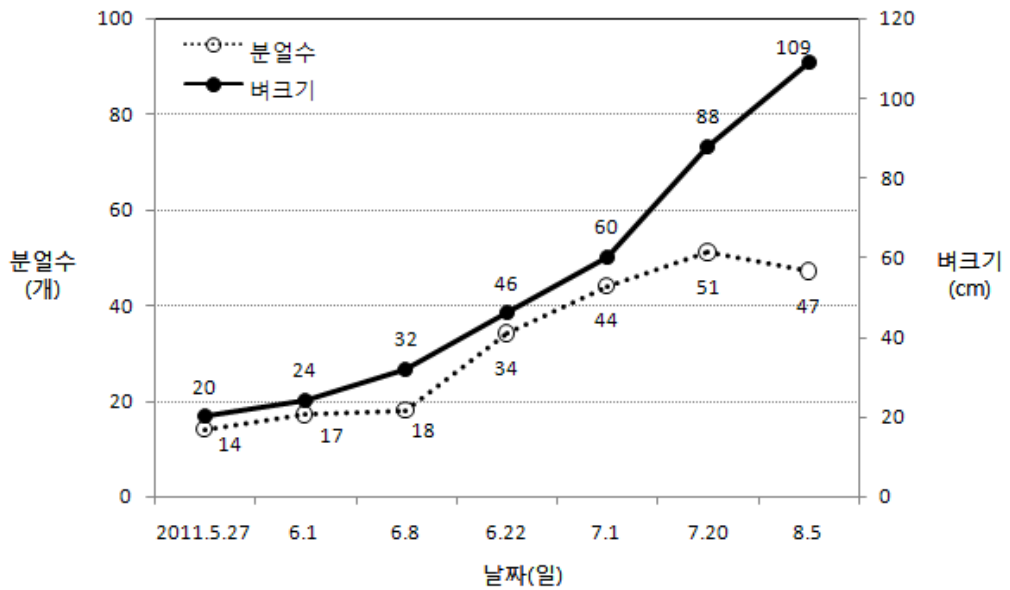
<그림 4-3-7> 분얼수 및 벼크기 변화(3번 시험포, 중간낙수 2회)



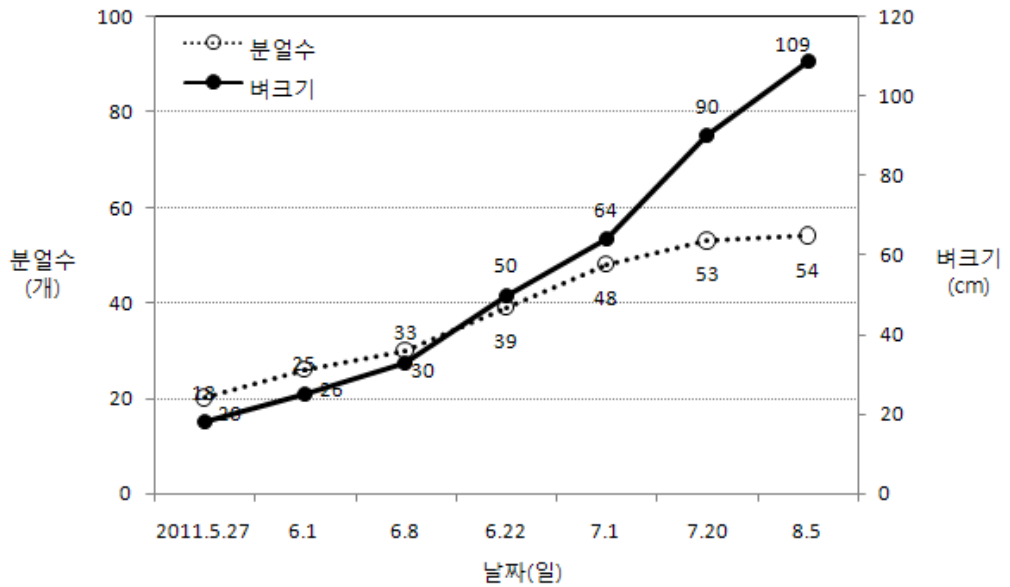
<그림 4-3-8> 분얼수 및 벼크기 변화(4번 시험포, 관행모내기+SRI 물관리)



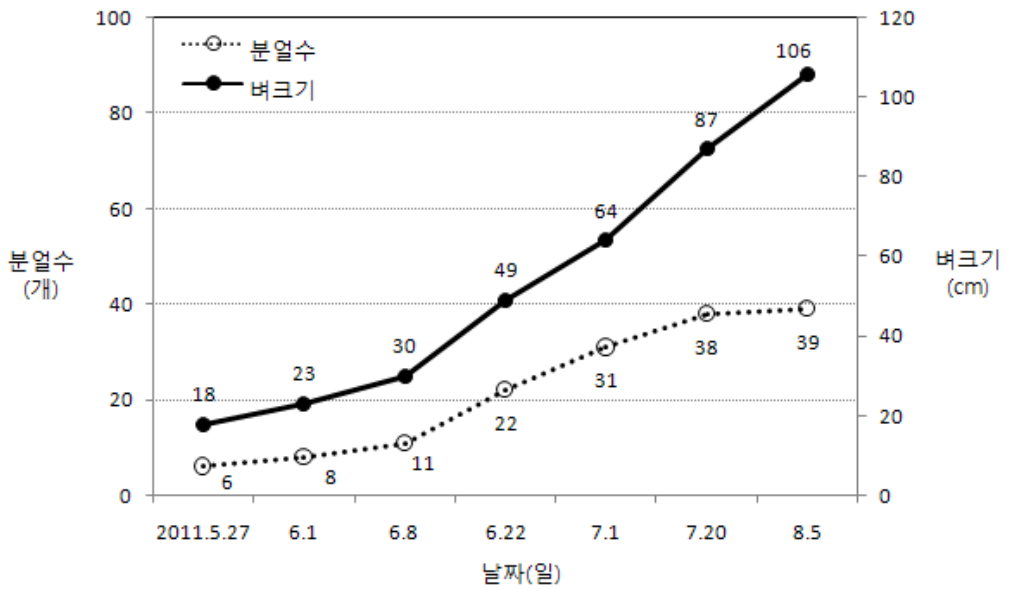
<그림 4-3-9> 분얼수 및 벼크기 변화(SRI 5번 시험포, 모의개수 1개)



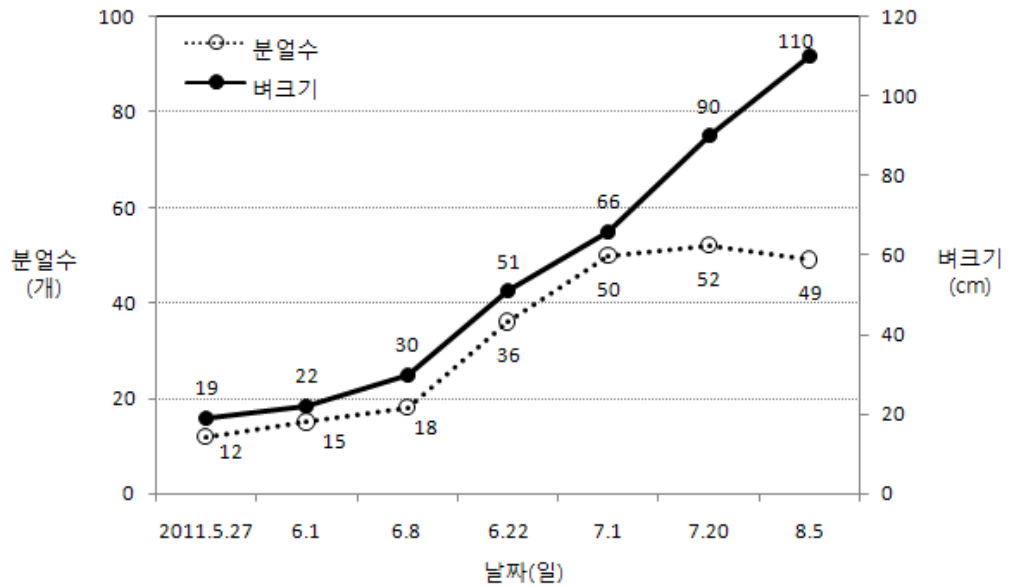
<그림 4-3-10> 분얼수 및 벼크기 변화(SRI 5번 시험포, 모의개수 2개)



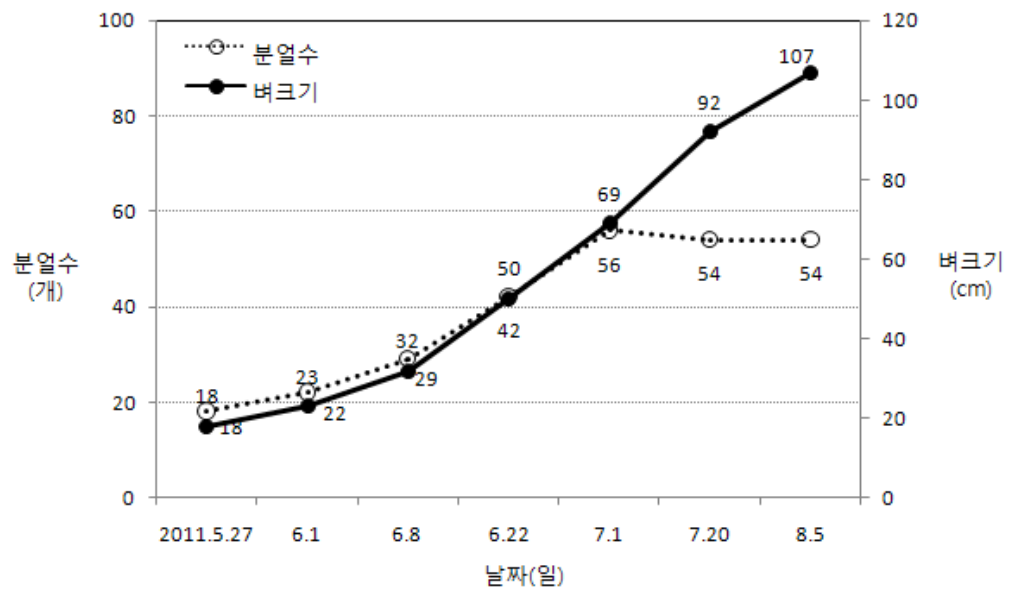
<그림 4-3-11> 분얼수 및 벼크기 변화(SRI 5번 시험포, 모의개수 3개)



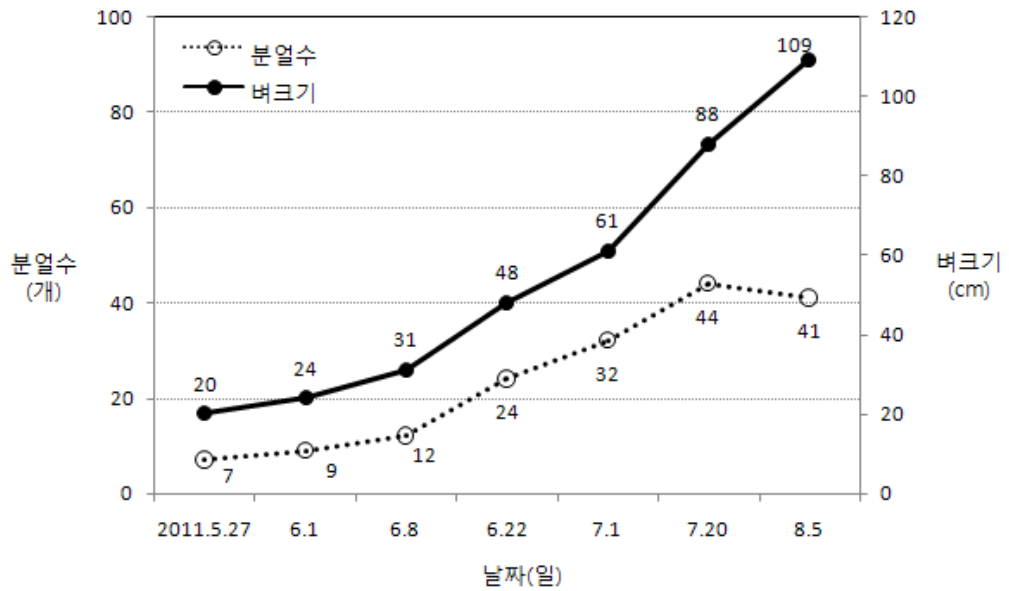
<그림 4-3-12> 분얼수 및 벼크기 변화(SRI 6번 시험포, 모의개수 1개)



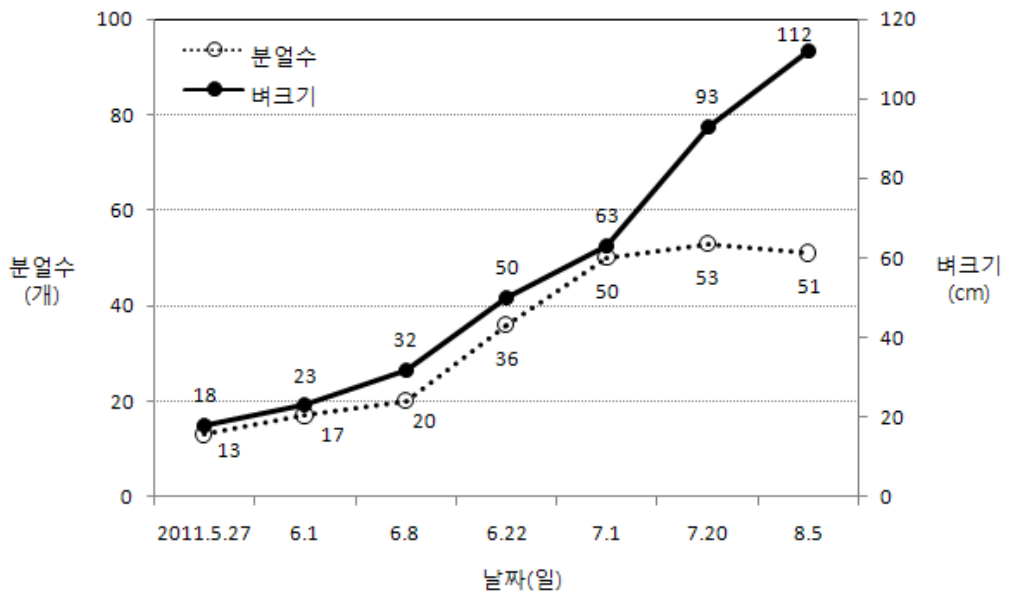
<그림 4-3-13> 분얼수 및 벼크기 변화(SRI 6번 시험포, 모의개수 2개)



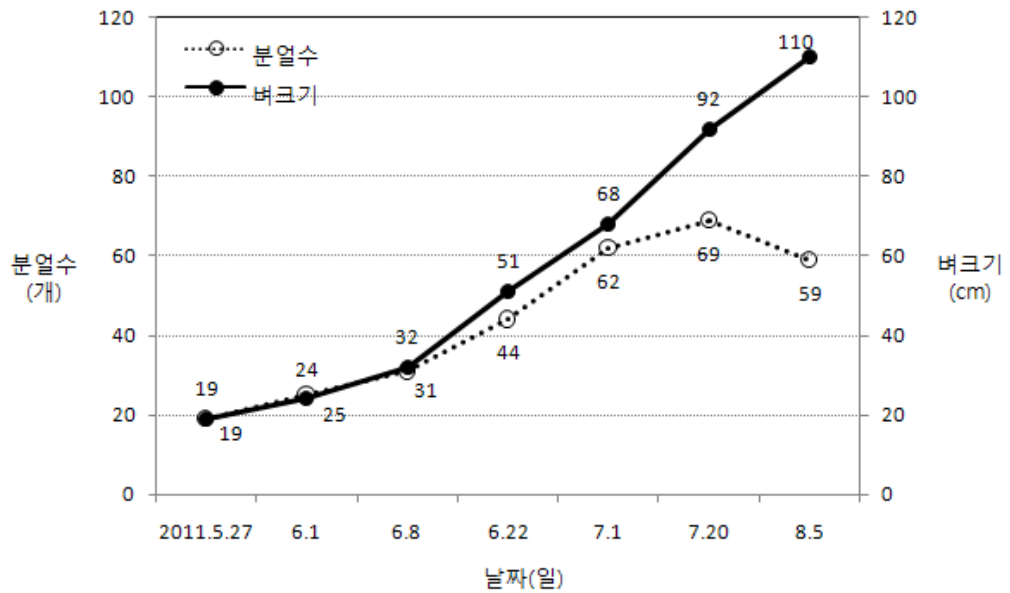
<그림 4-3-14> 분얼수 및 벼크기 변화(SRI 6번 시험포, 모의개수 3개)



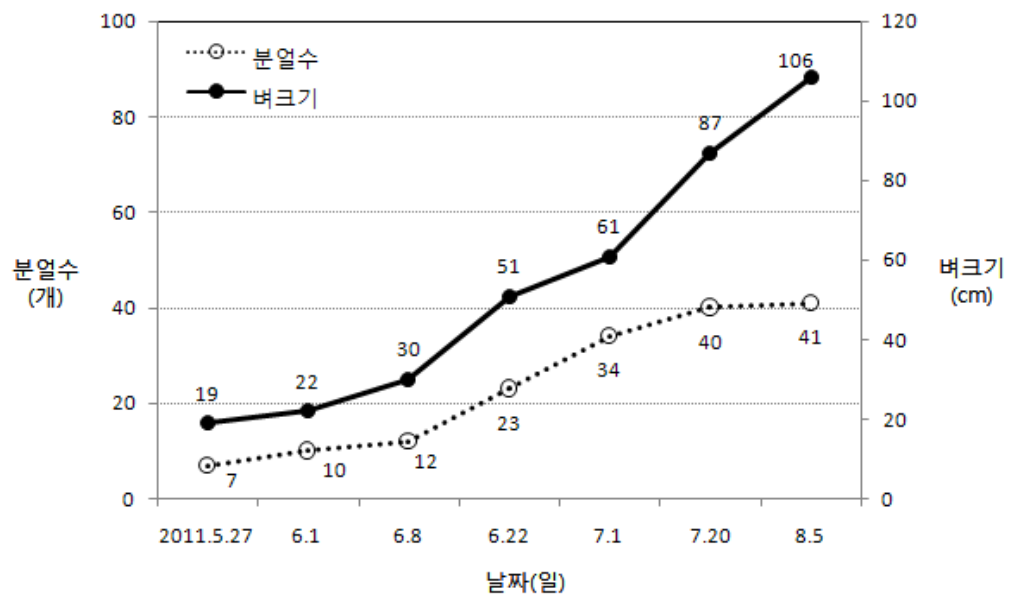
<그림 4-3-15> 분얼수 및 벼크기 변화(SRI 7번 시험포, 모의개수 1개)



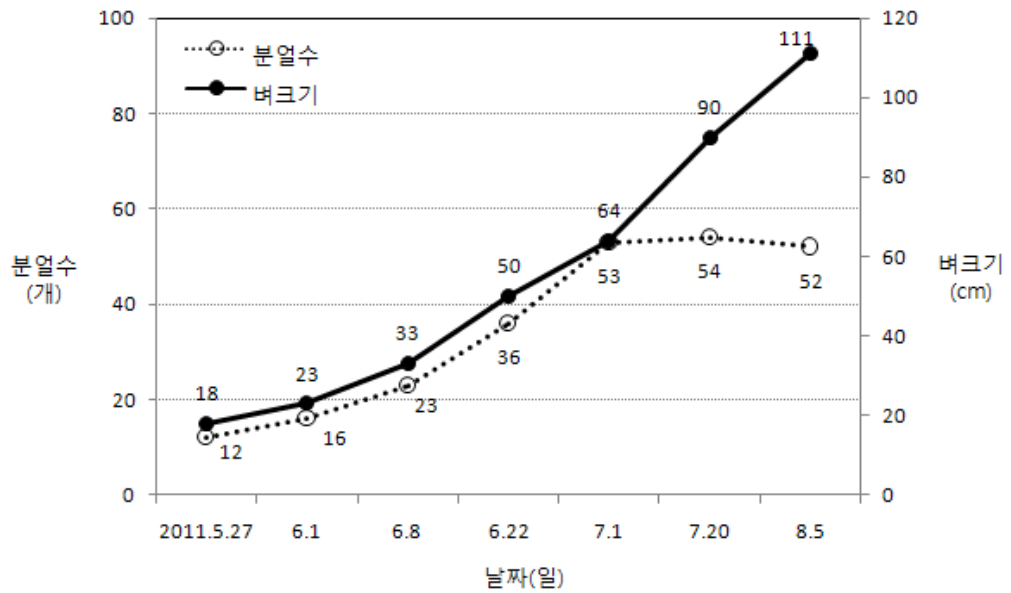
<그림 4-3-16> 분얼수 및 벼크기 변화(SRI 7번 시험포, 모의개수 2개)



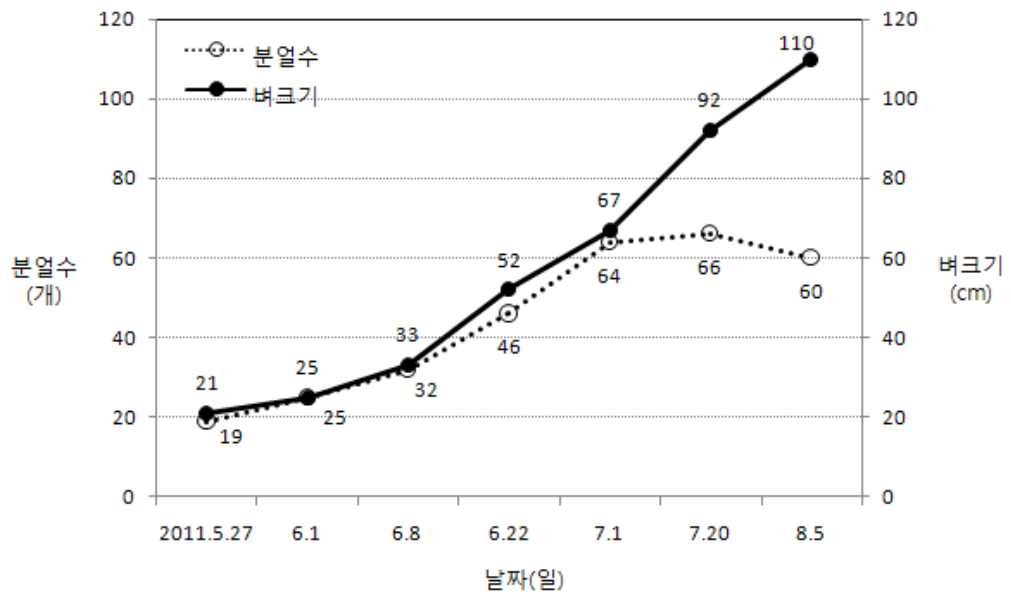
<그림 4-3-17> 분얼수 및 벼크기 변화(SRI 7번 시험포, 모의개수 3개)



<그림 4-3-18> 분얼수 및 벼크기 변화(SRI 8번 시험포, 모의개수 1개)



<그림 4-3-19> 분얼수 및 벼크기 변화(SRI 8번 시험포, 모의개수 2개)



<그림 4-3-20> 분얼수 및 벼크기 변화(SRI 8번 시험포, 모의개수 3개)

(표 4-3-1) 재배방법에 따른 분얼수 및 벼크기 변화

처리내용		5.27	6.1	6.8	6.22	7.1	7.20	8.5	
분얼수 (개)	상시담수 관행 1, 2	7	8	12	21	30	33	33	
	중간낙수 2회 관행 3	7	10	13	22	30	34	32	
	SRI 물관리 4	6	8	12	21	33	37	35	
	30×30 cm	SRI 5(1), 6(1)	7	9	11	23	32	41	38
		SRI 5(2), 6(2)	13	16	18	35	47	52	48
		SRI 5(3), 6(3)	19	24	30	41	52	54	53
	40×40 cm	SRI 7(1), 8(1)	7	10	12	24	33	42	41
		SRI 7(2), 8(2)	13	17	22	36	52	54	52
		SRI 7(3), 8(3)	19	25	32	45	67	64	60
벼크기 (cm)	상시담수 관행 1, 2	16	20	26	41	50	85	104	
	중간낙수 2회 관행 3	19	23	28	44	52	82	106	
	SRI 물관리 4	16	20	27	47	62	86	108	
	30×30 cm	SRI 5(1), 6(1)	18	24	31	48	63	86	106
		SRI 5(2), 6(2)	20	23	31	49	63	89	110
		SRI 5(3), 6(3)	18	24	33	50	67	91	108
	40×40 cm	SRI 7(1), 8(1)	20	23	31	50	61	88	108
		SRI 7(2), 8(2)	18	23	33	50	64	92	112
		SRI 7(3), 8(3)	20	25	33	52	68	92	110

() 안의 숫자는 모의 개수를 의미함

4.4 벼의 수확량 및 품질

4.4.1 수확량

수확 시기는 벼알에 저장양분의 이동이 끝난 시기라고 할 수 있지만 포장 전체의 벼이삭 또는 벼 알이 같은 날짜에 성숙하는 것은 아니므로 실제 베어야 할 시기는 대부분의 벼알이 익었을 때이다. 수확을 너무 일찍하면 청치와 쪽정이 벼가 많아져서 수량이 감소되고, 너무 늦으면 쌀겨층이 두꺼워지고 색택이 나쁘며, 쌀의 질이 떨어지고 금간쌀 즉, 동할미가 많아진다. 또 떨어지는 벼알이 많고 새, 쥐 등에 의한 피해를 받기 쉬우며 쓰러짐이 생기는 등 수량이 줄어들뿐만 아니라 벼베기에 많은 노력이 소요된다. 수확적기는 각 품종마다 다른데, 출수 후 40~50일 사이에 수확을 해야 한다. 본 연구에서는 출수 후 41일 인 9월 8일에 수확하였다. 수확시 벼의 수분함량은 대개 22~25%정도이기 때문에 이를 15%까지 건조시켜야 좋은 품질의 쌀알이 나올 수 있다. 이러한 조건들을 고려하여 수확 후 건조(자연건조) 하였으며 도정 후 수량을 산정하였다(그림 4-4-1).

1차년도와 2차년도의 경우 SRI 시험포의 벼의 경우 포기당 벼씨무게가 관행에 비해 1.8~3.9배 이상 높게 측정되었으나, SRI 시험포는 관행에 비해 재식밀도가 낮아 전체 수확량으로 비교해 볼 때 관행 시험포의 수확량 대비 76~92% 범위의 값을 보였다. 하지만 당해연도(2차년도)의 경우 SRI 시험포에서의 수확량은 관행 대비 백미 기준으로 109~120% 범위를 보였으며, 완전미 기준으로 120~133%의 범위를 나타내었다.

대체적으로 SRI 시험포의 경우 심은 모의 개수가 1개에서 3개로 증가할수록 수확량도 증가하는 것으로 나타났으나, 큰 차이를 보이지는 않는 것으로 나타났다. SRI 시험포의 벼의 경우 1차년도와 유사하게 포기(1주)당 벼씨무게가 관행에 비해 최대 3.8배 이상 높게 측정되었으며, 관행에 비해 전체적으로 주당수수, 수당립수, 등숙비율이 높은 값을 보여 벼의 생육 및 수량성에 있어 SRI가 관행에 비해 우수한 것으로 분석되었다(표 4-4-1).



수확 및 탈곡



건조



수확시 관행 및 SRI 벼 비교

<그림 4-4-1> 벼의 수확 및 건조

(표 4-4-1) 처리별 벼의 생육 및 수량성

품종	처리내용	출수기	주당수수 (개)	수당립수 (개)	등숙비율 (%)	현미 천립중 (g)	수량 (kg/10a)		수량 평균 (kg/10a)		수량 지수	
							백미	완전미	백미	완전미	백미	완전미
오 대	관행 1	7 월 29 일	21	74	85.5	26.1	546	446	540.5	430.5	100	100
	관행 2		22	69	87.1	25.6	535	415				
	3		22	69	85.8	26.1	562	465	562	465	104	108
	4		27	80	90.2	26.1	634	552	634	552	117	128
	SRI 5(1)		29	97	94.1	27.2	620	547	611	532	113	124
	SRI 6(1)		34	94	94.9	27.1	602	517				
	SRI 5(2)		30	101	95.5	26.6	604	517	612	532.5	113	124
	SRI 6(2)		38	86	92.9	26.9	619	548				
	SRI 5(3)		37	81	93.2	24.9	641	574	647	573.5	120	133
	SRI 6(3)		39	87	93.0	25.0	652	573				
	SRI 7(1)		46	101	91.2	27.8	600	524	590	517.5	109	120
	SRI 8(1)		43	111	92.0	27.6	579	511				
	SRI 7(2)		53	93	93.8	27.1	569	503	591	505	109	117
	SRI 8(2)		49	99	91.1	26.6	613	507				
	SRI 7(3)		57	88	91.2	26.9	628	534	627	542	116	130
	SRI 8(3)		53	96	94.9	25.8	625	549				

() 안의 숫자는 모의 개수를 의미함

4.4.2 쌀의 품질

각 처리별 쌀의 품질 및 식미평가 결과를 표 4-4-2에 나타내었다. 한국 양질미 품종 선발 기준 중 이화학적 성분은 다음과 같으며, 관행 및 SRI 시험포의 단백질 및 아밀로스 함량은 기준내에 있는 것으로 나타났다.

- 아밀로스 함량: 20% 이하
- 백미단백질 함량: 6~8%
- 알칼리 붕괴도 (KOH 1.4%) (1~7): 5~7

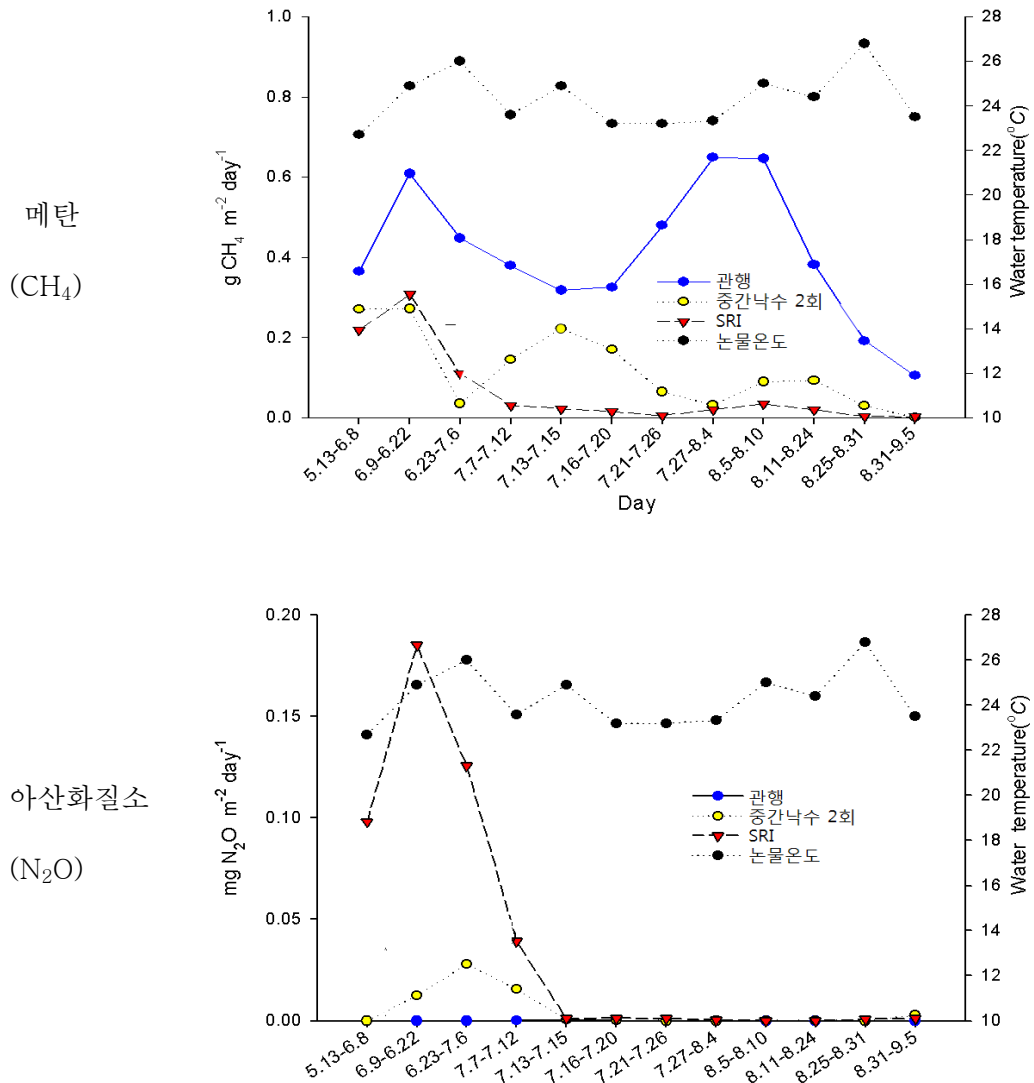
관행의 경우 단백질 함량이 7.9%로 가장 높은 값을 보였는데, 단백질 함량과 식이치(윤기치)는 반비례 관계로 단백질 함량이 높은 관행의 경우 식이치가 58~63으로 가장 낮게 측정되었다. 이에 반해 SRI 시험포의 경우 전체적으로 식이치가 관행에 비해 높은 것으로 나타났으며, 또한 완전립 비율도 관행대비 높은 값을 나타내어 품질에서도 SRI가 높게 평가되었다. 특히, 각 처리별 쌀의 품질 및 식미평가 결과 3개씩 모를 이양한 시험포에서 전체적으로 높은 값을 나타내었다.

(표 4-4-2) 쌀 품질 및 식미평가

시험포	성분(%)		품질(%)					ToYo식이치 (윤기치)
	단백질	아밀로스	완전립	싸래기	분상진	피해립	열손립	
관행1	7.9	16.4	81.7	3.1	7.1	7.7	0.4	62
관행2	7.4	15.5	77.5	4.3	12.4	4.8	1	63
3	7.9	17.2	82.8	8.7	6.3	2.1	0.1	58
4	7.0	17.6	88.0	2.4	7.6	2	0	67
5(1)	6.9	19.1	88.2	5.5	5.8	0.5	0	66
5(2)	7.0	18.1	85.6	6.3	6.5	1.4	0.2	66
5(3)	6.8	18.1	89.6	2.5	5.9	1.7	0.3	67
6(1)	7.2	17.8	85.9	4.1	7.1	2.6	0.3	64
6(2)	7.2	18.9	88.5	2.8	8.3	0.4	0	65
6(3)	6.8	19.7	87.9	4.3	7.4	0.4	0	78
7(1)	7.5	18.2	87.4	3.7	5.2	3.7	0	66
7(2)	7.2	17	83.5	3.0	5.8	7	0.7	70
7(3)	6.6	17.9	85.0	7.8	4.1	3	0.1	73
8(1)	7.2	17.3	88.2	1.0	5.1	5.5	0.2	66
8(2)	7.1	17.8	82.8	3.3	7.9	5.5	0.5	75
8(3)	6.5	17.6	87.9	4.7	6.2	1.1	0.1	75

4.5 온실가스 배출량 평가

본 연구에서는 물관리 방법에 따른 온실가스(메탄 및 아산화질소) 저감효과를 평가하기 위해 관행(상시답수), 관행모내기+중간낙수 2회 그리고 SRI 시험포에서 주기적으로 온실가스 배출량을 측정하였으며(5월 13일 ~ 9월 5일), 배출 양상을 그림 4-5-1에 비교하여 나타내었다.

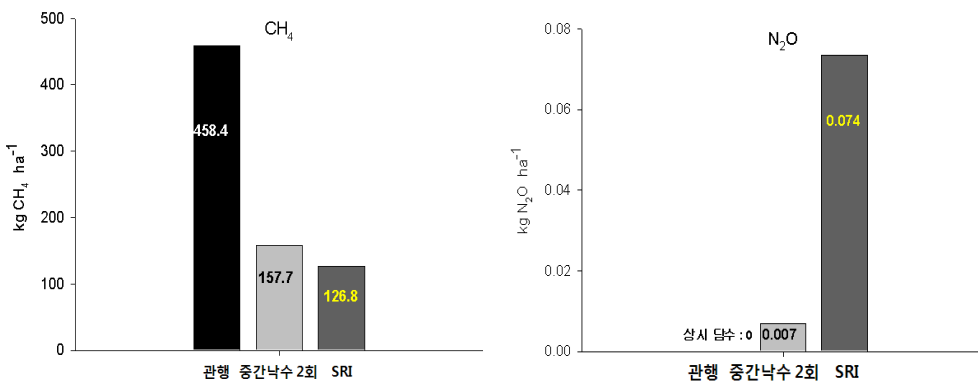


<그림 4-5-1> 물관리 방법별 메탄 및 아산화질소 배출 양상 비교

그리고 연구기간동안에 발생한 온실가스의 총 배출량을 산정한 결과(CO2톤/ha으로 환산), SRI 시험포에서 가장 낮은 값을 보였으며, SRI 벼재배는 관행(상시답수) 대비 71.8%의 온실가스 감축효과가 있는 것으로 나타났다(표 4-5-1, 그림 4-5-2). 최근 국가 녹색성장의 핵심과제인 “탄소배출권 거래제” 도입시기가 당초 정부가 예고했던 2013년에서 최근 2015년으로 연기됨에 따라 농업부문에서도 탄소배출 저감을 위한 구체적인 추진전략에 대한 논의를 본격화해야 한다는 지적이 일고 있다. 또한 한국농촌경제연구원의 ‘농업부문 녹색성장 진단과 과제 연구보고서’에 따르면 농업부문에서 감축조치를 시행하지 않는 경우 2020년 전망치는 2005년보다 0.5% 감축된 1,827만 CO2 톤으로 국가 온실가스 감축목표치보다 높은 수준이 될 전망이어서 관리 대책이 시급한 실정이다(농민신문, 2011). 아직까지 구체적인 농업계 온실가스 감축계획이 없는 현 실정에서 SRI 벼재배 기술은 온실가스 감축을 위한 좋은 대안으로 판단된다.

(표 4-5-1) 물관리 방법별 온실가스 총 배출량 비교

물관리	총 배출량 (kg/ha)		CO ₂ 톤/ha	지수
	CH ₄	N ₂ O		
관행(상시답수)	458.4	0.000028	14.2	100
중간답수 2회	157.7	0.007	4.9	34.5
SRI 물관리	126.8	0.074	4.0	28.2



<그림 4-5-2> 물관리 방법별 메탄 및 아산화질소 총 배출량 비교

제 5 장 결 론



한국농어촌공사 농어촌연구원

강원대학교

제5장 결론

SRI 국내도입을 위한 시험포를 설치하고 운영하여, SRI의 적용가능성을 평가하기 위해 수행한 2차년도(2011년) 연구사업의 연구결과를 다음과 같이 요약·정리하였다.

5.1 연구대상 지역의 토양특성 및 기상현황

- ① 연구대상 지역의 토양 입도분석결과 입경가적곡선의 균등계수(Cu)는 150, 곡률계수(Cg)는 1.13으로 토양의 입도분포가 양호한 것으로 나타났다. 시험토양은 모래 48.6%, 실트 33.8%, 점토 17.5%로 측정되었으며, 논의 토성은 양토(Loam)로 일반적인 우리나라 논토양 입경분포에 비해 모래성분이 13.8% 이상 높은 것으로 조사되었다.
- ② 초기 논토양의 성분함량(지렁이 분변토 주입 후) 분석결과 유기물함량(Organic matter, OM)은 28 ± 1.0 g/kg, pH 6.3 ± 0.2 , 유효규산 163 ± 23 mg/kg로 측정되었다. 교환성 양이온의 경우 Ca는 6.0 ± 0.3 cmol/kg, Mg는 1.9 ± 0.2 cmol/kg 그리고 K는 0.5 ± 0.06 cmol/kg로 측정되어 칼륨(K)을 제외한 모든 화학적 성분은 벼 재배를 위한 논토양의 화학성분 최적범위내에 있는 것으로 분석되었다.
- ③ 시험토양의 성분 변화를 시기별로 분석한 결과 pH 및 유기물함량은 시험전에 비해 모든 재배양식에서 낮아졌으며, 교환성양이온 및 중금속 함량도 대체적으로 감소하는 경향을 보였다. 하지만 유효인산함량은 시험전에 비해 증가하였는데, 특히 SRI 시험포에서 2배 이상 증가한 것으로 나타났다.
- ④ TDR 장비를 이용하여 토양수분을 측정한 결과 관개시 토양수분은 약 21~23% 범위내에 있는 것으로 나타났으며, 이때의 논 수위측정시설의 물 높이는 논 표면(기준점 0)을 기준으로 아래로 약 15~20 cm 정도인 것으로 조사되었다.
- ⑤ 연구기간동안 총 48회의 강우가 발생하였으며, 이중 20 mm 이상의 강우는 22회로, 일 강우량은 0.3 mm에서 232.6 mm의 범위를 나타내었다. 특히, 6월 22일 이후 약 8일동안 지속적인 강우로 인해 400 mm 이상의 폭우가 내렸으며, 7월 24일

부터 4일동안 약 500 mm 이상의 기록적인 강우를 나타내었다. 유출계수는 관행 시험포의 경우 0.83~0.96의 범위를 보였으며, SRI 시험포는 0.70~0.89의 범위를 보였다.

5.2 관개용수 사용량

- ① 연구에 사용한 농업용수 수질측정 결과 국내 농업용수 기준에 전체적으로 부합하는 것으로 나타났으며, 국내 농업용수 수질현황 값과 거의 유사한 것으로 나타나 농업용수로 사용하는데 큰 지장이 없는 것으로 판단된다.
- ② 논 시험토의 침투량, 감수심 및 증발산량은 총 9회 측정하였으며, 1일 평균증발산량은 4.6 mm (감수심 4.9 mm, 침투량 0.3 mm)인 것으로 나타났다.
- ③ 관행시험포(상시답수)의 경우 총용수사용량은 46.6 m³ (719 mm)으로 산정되었으며, SRI시험포의 경우 23.6 m³ (365 mm)으로 산정되어 관행대비 49.4%의 농업용수를 절감한 것으로 분석되었다.

5.3 관행 및 SRI 작물생육모니터링

- ① 파종 후 관행 및 SRI 모의 상태를 관찰한 결과 크기뿐만 아니라, 분얼수 및 뿌리의 발달이 관행에 비해 SRI 모가 월등히 우수한 것으로 나타났다.
- ② SRI 원칙에 부합하도록 어린모(5~7 cm)를 이앙하려면 파종 후 분얼과 성장상태가 본격화되기 전인 15일 이내에 이앙을 하는 것이 바람직한 것으로 분석되었다.
- ③ SRI 및 관행 시험포내 벼의 분얼수 및 벼크기 변화를 계속적으로 측정한 결과 전체적으로 벼크기 경우 계속적으로 증가하는 것으로 나타났으며, 분얼수는 7월 20일을 기점으로 최고분얼수를 나타내었다. 관행에 비해 SRI가 분얼수(7월 20일 기준)는 33개에서 41-64개, 벼크기는 104cm에서 106-112cm로 증가하고 있는 것으로 나타났으며, SRI의 분얼수는 관행 대비 최대 1.9배(최소 1.2배) 이상, 벼크기는 최대 약 8 cm 높은 수치를 나타내었다. 동일한 관행 모내기 후 물관리 방법을 달리했을 경우에도 분얼수와 벼크기가 33개에서 최대 37개, 104 cm에서

108 cm로 나타나 물관리방법에 따라서도 생육에 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 또한, SRI 시험포에서 재식거리가 클수록 분얼수 및 벼크기가 높은 값을 보이는 것으로 조사되었다. 전체적으로 SRI 시험포가 관행에 비해 분얼수 및 벼크기가 큰 것으로 나타났으며, 이에 SRI 재배가 관행에 비해 작물생육에 있어 더 효과적인 것으로 판단된다.

5.4 수확량 및 쌀의 품질

- ① SRI 벼재배의 포기당 벼씨무게가 관행에 비해 3.8배 이상 높게 측정되었다. 그리고 SRI의 수확량은 관행 대비 백미 기준으로 109-120%의 범위를 보였으며, 완전미 기준으로 120-133%의 범위를 나타내었다.
- ② SRI 벼재배가 관행에 비해 주당수수, 수당립수 및 등숙비율이 높은 것으로 나타났다.
- ③ SRI 시험포의 단백질 함량은 전체적으로 한국의 양질미 품종 선발 기준의 단백질 함량의 6%에 가까운 수치를 기록하였다. 이에 반해 관행의 경우 7.9%의 높은 단백질 함량을 나타내었는데, 단백질 함량과 식이치(윤기치)는 반비례 관계로 단백질 함량이 높을수록 식미는 떨어진다. 따라서 단백질 함량이 가장 높은 관행의 경우 식이치가 58-63으로 가장 낮게 측정되었다. 각 처리별 쌀의 품질 및 식미평가 결과 재식거리가 증가할수록(40×40 cm) 모의 이앙개수(3개)가 많을수록 높은 값을 보이는 것으로 나타났다.

5.5 온실가스 측정

물관리 방법에 따른 논에서의 온실가스 배출량 측정 결과 SRI 벼재배는 관행(상시담수) 대비 71.8%의 온실가스 감축효과가 있는 것으로 분석되었다. 아직까지 구체적인 농업계 온실가스 감축계획이 없는 현 실정에서 SRI 벼재배 기술은 온실가스 감축을 위한 좋은 대안으로 판단된다.

5.6 향후(차년도) 연구계획

- ① SRI 원칙은 1주의 어린모(5~7 cm)를 이앙하는 것을 추천하고 있다. 하지만 당해 연도의 경우 10 cm 이상의 모를 이앙하였다. 이에 차년도(3차년도) 연구에서는 파종 후 분얼과 생장성장이 본격화되기 전인 약 15일 이내로 SRI에 원칙에 부합할 수 있도록 어린모(5~7 cm)를 이앙하여 연구를 수행할 예정이다. 어린모를 재배할 경우 중모보다 모내기 시의 배유양분의 잔존량이 절반정도로 많이 남아 있어 이앙 직후 몸살 없이 활착된다. 또한 어린모는 이앙 후에 환경적응성이 뛰어나고 침수시 재생능력이 강하며, 첫 분얼발생마디가 중모보다 낮은 마디에서 시작하므로 분얼발생에도 유리해 보다 높은 수확량을 기대할 수 있다.
- ② SRI를 처음 재배하는 논에서의 이앙간격은 25×25 cm가 추천되고 있다. 관행재배로 토양의 비옥도가 낮은 토양에서 높은 이앙간격(40×40 cm 등)은 충분한 영양을 공급할 수 없어 벼의 생산량이 기대만큼 나타날 수 없기 때문이다. 이에 차년도(3차년도) 연구에서는 보다 높은 수확량 도출을 위해 기존의 이앙간격보다 낮은 25×25 cm로 변경하여 연구를 수행할 예정이다.
- ③ 포트 파종기 및 포트 이앙기 적용가능성을 평가하기 위해 파종기 및 이앙기에 이용되는 포트판에 범씨를 파종하고 순차적으로 기초 연구를 진행해 나갈 예정이다.

제 6 장

연구개발목표

달성도 및 연구실적



한국농어촌공사 농어촌연구원

강원대학교

제6장 연구개발목표 달성도 및 연구실적

6.1 연구개발목표 달성도

연구개발 목표	연구개발 수행내용	달성도(%)	
SRI 재배기술 정립	연구자료의 수집. 분석	SRI 사례조사 (문헌연구)	100
		포트재배지 견학(여주) 및 자료수집	100
	농지임대. 시험포 유지보수 및 운영	농지의 장기임대	100
		분변토 투입 및 차단막(비닐) 설치	100
		시험포(측정시설포함) 유지 및 보수작업 (시험포 8개)	100
		종자준비, 침종 및 파종(오대), 파종일자 4. 22일	100
		이앙(모내기), 5. 13일	100
		본답기 관리(영농관리): 3월-9월 (시비, 제초, 물관리등)	100
		수확 및 탈곡(9. 8일), 도정(9. 15일)	100
	실험장비. 시설의 설치	플랩, 카속턴휠샘플러, 수위계 , AWS, TDR 가스포집장치 등 설치	100
	작물 생육모니터링 및 수확량 조사	관개량, 강우량, 유출량, 토양함수비등 실험 변수 측정	100
		시기별 작물생육모니터링 (벼크기, 분얼수등)	100
		수확량 및 미질조사 (주당수수, 등숙비율, 단백질함량 등)	100
		물관리에 따른 온실가스 측정	100
	관행 및 SRI 벼재배 특성 평가	실험변수 측정결과 및 시기별 작물생육모 니터링 결과 비교를 통한 SRI 효과 검토	100
	SRI 재배기술정립	표준영농교본(안) 기술	100

6.2 연구실적

1. 논문 게재 실적

학술지명칭	제 목	게 재 연월일	권(호) 페이지	발 행 기 관	국 명	SCI게재 여부
한국 농공학회지	용수절약을 위한 국내 SRI 적용 가능성 평가	2011. 7	53(4) pp.49-57	한국 농공학회	한국	국내게재

2. 학술회의 발표 실적

학술회의 명칭	제 목	게 재 연월일	발 행 기 관	기타
PAWEES International Conference	Feasibility of SRI Application for Reduction of Irrigation and NPS Pollution in Korea	2011. 10	-	국제학회
ICID congress on irrigation and drainage	Study on feasibility of system of rice intensification (SRI) in South Korea	2011. 10	International Commission on irrigation and drainage	국제학회
Korea AG-BMP Forum KAB-2 International Conference	Effect of trial SRI on reduction of irrigation and NPS pollution in Korea	2011. 6	농림수산식품부, 농어촌공사 농어촌연구원	국제학회
환경연구소 연례학술발표회 -수질관리를 위한 유역관리 및 환경컨설팅	SRI 벼재배기술 적용에 따른 관개용수 및 논비점오염부하 저감 효과 평가	2011. 12	강원대학교 환경연구소	국내학술대회

2011년 공동 추계학술발표회 (대한상하수도학회, 한국물환경학회)	SRI 적용을 통한 비점 오염원 저감효과 분석	2011. 11	대한상하수도학회	국내학술대회
2011년 춘계학술발표회 (한국수자원학회)	SRI 비재배기술 적용에 따른 논비점오염부하 저감효과 평가	2011. 5	수자원학회	국내학술대회

6.3 연구개발 결과의 활용계획

1. 활용하고자 하는 사업명

- 농촌용수개발사업

2. 활용 주관부서

- 농림수산식품부 농업기반과/공사 수자원관리처/농촌진흥청 수도작 관련 부서/ 일선 농민(친환경농업)

3. 사업 반영내역 및 계획

- 표준재배기술을 작성하여 용수개발사업 및 농업용수 유지관리에 반영

4. 사업부서 교육 및 기술지원 내역 및 계획 등 기타활용 방안

- 표준재배기술 보급 및 교육 실시

제 7 장 참고 문헌



한국농어촌공사 농어촌연구원



강원대학교

제7장 참고 문헌

1. 관개배수공학, 2006, 동명사
2. 국제미작연구소, 2010, 호주학회 19차 World Congress of Soil Science 발표자료집(SRI Part)
3. 기상청 통계자료, 2011
4. 김춘송, 고지연, 이재생, 정기열, 박성태, 구연충, 강항원, 2007, 배수로 물 관개 벼농사의 비점오염원 경감효과, 한국환경농학회지, 26(2), pp. 107~115
5. 노기안 등, 2009, 질소수지에 의한 환경특성과 영농방법별 벼농사의 수질영향평가, 한국토양비료학회
6. 농림부, 2001, 농업용수수질 측정망 조사보고서
7. 농민신문, 2010. 8. 6, <http://www.nongmin.com/>
8. 농민신문, 2011. 4. 20, <http://www.nongmin.com/>
9. 농촌진흥청, 2000, 표준영농교본 벼생력재배
10. 농촌진흥청, 2006, 벼농사분야 영농활용 자료집: 농업과학기술 연구개발결과
11. 농촌진흥청, 2008, 농업용수 수질기준 법령 제.개정
12. 전원태, 허승오, 성기영, 오인석, 김민태, 2011, 강위금 녹비작물 헤어리베치가 벼생육 및 관개량 절약에 미치는 효과, 한국토양비료학회지, 44(2), pp. 181~186
13. 춘천시, 2011, 통계자료
14. 한국헌, 2003, 논에서의 오염부하량 산정을 위한 현장모니터링 및 모형 적용, 전남대학교 대학원 박사학위논문
15. 환경부, 2007, 수질공정시험법
16. 환경부, 2009, 토양오염공정시험법
17. 허승오 등, 2009, 물부족 대비 농업용수 절약 방안 포럼, 농촌진흥청 국립농업

과학원

18. 토질역학, 2002, 형설출판사
19. Anthofer J et al, 2004, Evaluation of the system of rice intensification (SRI) in Cambodia, February-pril 2004. Report to GTZ, Phnom Penh
20. APHA, AWWA, and WEF, 2005, Standard methods for the examination of water and wastewater, 21th ed., American Public Health Association, Washington, D. C.
21. Barrett, C. B., C. M. Moser, O. V. McHugh, and J. Barison, 2004, Better technology, better plots, or better farmers? Identifying changes in productivity and risk among Malagasy rice farmers. *Am. J. Agr. Econ.* 86, pp. 869~888
22. Dixit, K., 2005, The miracle is it' s no miracle. *The Nepali Times*. Kathmandu. Available at: <http://www.nepalitimes.com/issue/256/Nation /569>.
23. Husain, A. M., P. B. Chowhan, A. F. M. Uddin, and A. B. M. Rahman, 2004, Final Evaluation Report on Verification and Refinement of the System of Rice Intensification (SRI) Project in Selected Areas of Bangladesh. PETRRA-Project, IRRI, Dhaka, Bangladesh
24. Kabir, H., and N. Uphoff, 2007, Results of disseminating the system of rice intensification with farmer field school methods in Northern Myanmar. *Expl. Agric.*, 43, pp. 463~476
25. Lazaro, R. C et al., 2004, Water-saving high-yielding TQPM and SRI trial runs and demonstrations in the Magballo-Balicotoc-Canlamay Integrated Irrigation Sub-Project. Report from the Southern Philippines Irrigation Support Project to the National Irrigation Administration, Quezon City
26. Li X, X. Xu, H. Li, 2005, A socio-economic assessment of the system of rice intensification (SRI): a case study from Xiushang village, Jianyang county, Sichuan province. Report for the Center for Integrated Agricultural

Development, China Agricultural University, Beijing

27. Namara R. E., P. Weligamage, and R. Barker, 2004, Prospects for adopting system of rice intensification in Sri Lanka: a socioeconomic assessment. Research Report 75, International Water Management Institute, Colombo
28. Namara, R., D. Bossio, P. Weligamage, and I. Herath, 2008, The practice and effects of the System of Rice Intensification(SRI) in Sri Lanka. *Quart. J. Int. Agric.*, 47, pp. 5-23
29. Neupane, R. B., 2003, System of Rice Intensification (SRI) – A new Method of Rice Cultivation. National Wheat Research Programme, Bhairawa, Nepal (<http://ciifad.cornell.edu/sri/countries/nepal/nepbhrep.pdf>)
30. Rural Development Administration. 2003, Survey standard of agriculture experiment. Suwon, Korea.
31. Sato, S., 2006, An evaluation of the system of rice intensification(SRI) in Eastern Indonesia for its potential to save water while increasing productivity and profitability. Paper for international dialogue on rice and water: exploring options for food security and sustainable environments, IRRI, Los Banos, March 7~8
32. Sato, S., and N. Uphoff, 2007, A review of on-farm evaluation of system of rice intensification (SRI) methods in eastern Indonesia. *CAB Rev.: Persp. Agric., Veter. Sci., Nutr. Nat. Resour.*, 2, 54. Commonwealth Agricultural Bureau International, Wallingford, UK
33. Satyanarayana, A., 2005, System of rice intensification—an innovative method to produce more with less water and inputs, Fourth IWMI-Tata Annual Partner's Meeting IRMA, Anand, India.
34. Satyanarayana, A., T. M. Thiyagarajan, and N. Uphoff, 2007, Opportunities for water saving with higher yield from the system of rice intensification. *Irrig.*

Sci., 25, pp. 99~115

35. Senthilkumar, K., P. S. Bindraban, T. M. Thiyagarajan, N. de Ridder, and K. E. Giller, 2008, Modified rice cultivation in Tamil Nadu, India: yield gains and farmers' (lack of) acceptance. *Agric. Syst.* 98, pp. 82~94
36. Sinha, S. K., and J. Talati, 2007, Productivity impacts of the system of rice intensification (SRI): a case study in West Bengal, India. *Agric. Water Manage.*, 87, pp. 55~60
37. Stoop, W., N. Uphoff, and A. Kassam, 2002. A review of agricultural research issues raised by the System of Rice Intensification (SRI) from Madagascar: Opportunities for improving farming systems for resource-poor farmers. *Agricultural Systems*, 71, pp. 249~274
38. Thakur, A. K., S. Rath, S. Roychowdhury, and N. Uphoff, 2010, Comparative Performance of Rice with System of Rice Intensification (SRI) and Conventional Management using Different Plant Spacing, *Journal of Agronomy and Crop Science*, 196, pp. 146~159
39. Uphoff, N., 1999, Agroecological implications of the system of rice intensification (SRI) in Madagascar. *Environ. Dev. Sustain.*, 1, pp. 297~313
40. Uphoff, N., E. C. Fernandes, L. P. Yuan, J. Peng, S. Rafaralahy, and J. Rabenandrasana, 2002, Assessing the System of Rice Intensification: Proceedings of an International Conference, Sanya, China, April 1-4, 2002. Ithaca, NY: Cornell International Institute for Food, Agriculture and Development. Available on SRI home page: <http://ciifad.cornell.edu/sri/>
41. Uphoff, N., 2007, The System of Rice Intensification (SRI) as a System of Agricultural Innovation. Available at: http://www.future-agricultures.org/farmerfirst/files/T1c_Uphoff.pdf.
42. Wang, S. H., W. X. Cao, D. Jiang, T. B. Tai, and Y. Zhu, 2002, Physiological

characteristics of high-yield techniques with SRI Rice. In: N. Uphoff, E. C. M. Fernandes, Y. Longping, P. Jiming, S. Rafaralahy and J. Rabenandrasana eds. Assessment of the System of Rice Intensification: Proceedings of an international conference, Sanya, April 1-4, 2002. Cornell Intl. Inst. for Food, Agriculture and Development, Ithaca, NY, pp. 116-124. (http://ciifad.cornell.edu/sri/procl/sri_27.pdf)

43. Yuan, L. P., 2002, A scientist' s perspective on experience with SRI in China for raising the yields of super hybrid rice. In: N. Uphoff, E. C. M. Fernandes, Y. Longping, P. Jiming, S. Rafaralahy and J. Rabenandrasana eds. Assessment of the System of Rice Intensification: Proceedings of an international conference, Sanya, April 1-4, 2000, Cornell Intl. Inst. for Food Agriculture and Development, Ithaca, pp. 23~25. (http://ciifad.cornell.edu/sri/procl/sri_06.pdf)
44. Zhao, L., L. Wu, Y. Li, X. Lu, D. Zhu, and N. Uphoff, 2009, Influence of the system of rice intensification on rice yield and nitrogen and water use efficiency with different N application rates. *Expl. Agric.*, 45, pp. 275-286
45. Zhao, L., L. Wu, Y. Li, S. Animesh, D. Zhu, and N. Uphoff, 2010. Comparisons of Yield, Water Use Efficiency, and Soil Microbial Biomass as Affected by the System of Rice Intensification. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 41(1), pp. 1~12
46. Zheng, J., L. Xianjun, J. Xinlu, and Y. Tang, 2004, The system of rice intensification (SRI) for super-high yields in rice in Sichuan Basin

제 8 장 부 록



한국농어촌공사 농어촌연구원



강원대학교

제8장 부 록

부록 I. 포트재배 관련 자료수집

(포트과종기와 포트이앙기 견학)

1. 방문기간: 2011년 4월 16일 포트과종기 견학/2011년 5월 28일 포트이앙기 견학
2. 방문장소: 여주군 능서면 마래리 친환경벼재배농사지역
3. 방 문 자: 강원대학교 농업생명과학대학 지역건설공학과
최중대 교수, 박사후 연구원 박운지
4. 초 청 자: 여주군 농업기술센터/여주군 능서면 마래리 대표 김준식
5. 방문지 참석자: 마을대표 김준식, 총무 엄기영, 그 외 마을주민 5~6명
6. 견학 및 자료조사내용
 - ① 친환경벼재배농사지역으로 2010년에 포트과종기 및 이앙기 시연회를 시작으로 2011년부터 포트재배를 적용하여 벼농사를 함
 - ② 처음 포트과종기 및 이앙기를 사용하여 장비사용이 다소 미숙함
 - ③ 4월 16일 볍씨과종, 5월 28일 모내기(이앙)
 - ④ 이앙간격: 30×45 cm
 - ⑤ 벼품종: 추청(아끼바리)
 - ⑥ 포트갯수/포트1판: 448개 (14×32)
 - ⑦ 포트 1개당 들어가는 볍씨 개수: 3~5 개 (조절이 가능함)
 - ⑧ 과종볍씨량: 45 g/판 (볍씨 3개기준)
 - ⑨ 상토 준비 - 물: 상토량 = 20 L: 200 L (상토5포)

- ⑩ 포트파종기 운전시 포트판 30장씩 올려놓고 작업함
- ⑪ 작업능률 - 370 상자/시간
- ⑫ 포트 1판 - 논 8평정도 작업할 수 있음
- ⑬ 물관리 방법 - 지하수 이용
- ⑭ 일본에서 수입한 기기(기술)라 초기투자비용이 높을 것으로 예상됨

7. 견학의 주요 성과

(1) 포트파종기 및 이앙기 작업관련 사진 및 동영상 자료수집

(2) SRI 벼재배의 문제점으로 지적되었던 파종 및 손이앙 문제(시간 등)를 해결할 수 있을 것으로 판단됨(SRI에 적용하여 벼재배 가능), 물관리 방법만 상이(SRI 원칙으로 간단관개 이용)



<사진 1> 현장 방문 사진(포트파종기)



<사진 2> 현장 방문 사진(포트이앙기)

부록 Ⅱ. SRI 벼재배 표준영농지침(안)

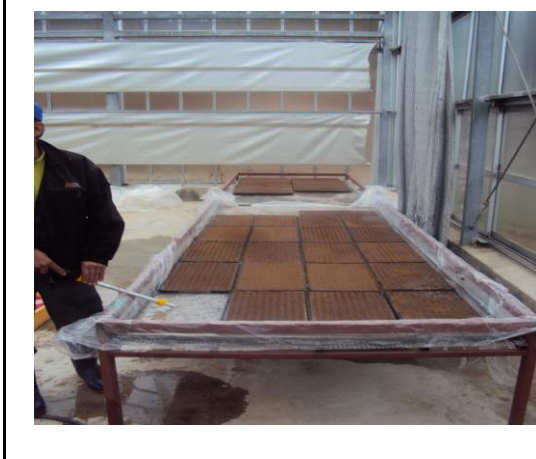
국내 SRI 벼재배 도입을 위한 표준재배지침을 작성하고 보급할 수 있도록 외국의 SRI 재배기술 방법을 조사하고, 본 연구과제를 수행하는 동안 파종, 모내기, 물관리 등의 영농관리를 위한 방법등을 정리하여 이를 토대로 SRI 재배를 위한 표준영농교본(안)을 기술하였다. 현재까지는 연구초기단계로 지속적인 연구를 통해 국내 특성에 맞게 기술을 더욱 개선해야 할 것으로 판단된다.

종자처리기술 (안) - 예시



정의	◎ 종자의 발아율을 높이고 병발생율을 방지하기 위해 수행하는 소독등의 작업
목적	◎ 병 발생을 감소, 벼 생산량 증가
<p>단계별 처리 기술 내용</p> <p>단계별 처리 기술 내용</p>	<p>모내기전의 벼종자처리공정에는 선별, 종자소독, 침종등이 있음.</p> <p>◎ 품종선정</p> <ul style="list-style-type: none"> - 각 지역별로 출수기를 고려하여 여물에 지장이 없도록 품종을 선정하는 것이 중요함 - 하지만 SRI 벼재배는 벼의 품종에 관계없이 물관리와 재배관리로도 생산성 향상을 이룰 수 있음 - SRI 벼재배는 하이브리드 벼에서 더 높은 효과를 보이며, 하이브리드 종자를 권장함 <p>◎ 종자준비 및 선별</p> <ul style="list-style-type: none"> - 종자의 크기는 어린모의 성장과 밀접한 관련이 있음 - 튼튼한 모를 키우려면 충실한 종자를 선별해야 함 - 튼튼하고 충실한 종자 선별을 위해 소금물가리기(염수선)를 실시함 - 염수선을 통해 떠오르는 쪽정미와 헝겍물들을 제거함 - 종자량은 모를 낼 논에 소요되는 포트상자를 감안하여 약 10%정도 여유 있게 종자를 준비함 <p>◎ 종자소독 및 침종</p> <ul style="list-style-type: none"> - 종자소독을 위해 스포탁(살균제, 2000배 - 20 ml/40 L)과 스미치온(살충제, 1000배 - 20 ml/20 L)을 이용 - 약품 혼합 후 볍씨를 48시간 침종. 이 후 병해를 막기 위해 자바라 종자처리 수화제로 처리 - 종자소독 후 약 7일간 침종 - 신선한 물로 갈아주어 종자에 필요한 산소를 공급해 줌 - 침종 기간이 길고 온도가 높을수록, 그리고 자주 물을 갈아 줄수록 종자의 활력이 유지될 수 있음 <p>◎ 싹틔우기</p> <ul style="list-style-type: none"> - 충분히 침종하여 과중직전에 종자상태가 어린싹이 약 1 mm 정도 되도록 싹틔우기를 실시함 <p>◎ 종자처리기술은 기존의 관행 방법과 동일하게 진행함</p>

파종 및 육묘기술 (안) - 예시



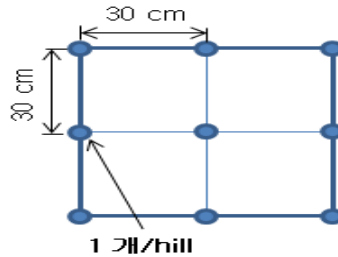
정의	<p>◎ 이양(모내기) 전 종자를 묘판에 심고(파종) 정식하기에 가장 적합한 양질의 묘를 키우는(육묘) 작업</p>
목적	<p>◎ 외부 장애로부터 묘 보호, 묘의 생육증진 및 수확량 증가</p>
<p>단계별 처리 기술 내용</p> <p>단계별 처리 기술 내용</p>	<p>◎ 파종전 준비: 종자, 상토, 트레이(포트판)</p> <p>◎ 파종 및 육묘</p> <ul style="list-style-type: none"> - 200구 트레이(30×60 cm) 포트묘판에 상토를 채움 - 뱀씨를 손으로 포트 한곳에 1개씩 파종 - 파종 후 윗부분을 상토로 덮어줌 - 뱀씨가 밖으로 나오지 않도록 조심스럽게 덮어줌 - 포트판을 이용하여 파종하면 뱀씨의 사용량이 줄어듬 - 200구 트레이를 기준으로 파종시 소요시간: 5-6분 /개 - 뱀씨가 잘 자랄 수 있도록 주기적으로 물을 대어 수분을 공급함 (비담수 재배로 육묘함) <p>◎ 파종기를 이용한 파종방법</p> <ul style="list-style-type: none"> - SRI 적용 연구가 아직 이루어지지 않은 상태임 - 포트갯수/포트1판: 448개 (14×32) - 포트 1개당 들어가는 뱀씨 개수: 3~5 개 (조절이 가능함) - 파종뱀씨량: 45 g/판 (뱀씨 3개기준) - 상토 준비 - 물: 상토량 = 20 L: 200 L (상토5포) - 포트파종기 운전시 포트판 30장씩 올려놓고 작업함 - 작업능력 - 370상자/시간 - 포트 1판 - 논 8평정도 작업할 수 있음

이앙(모내기) (안) - 예시

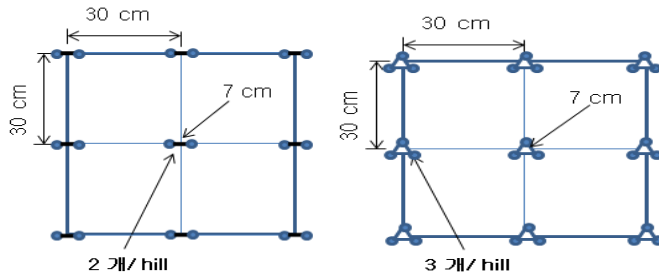


정의	못자리에서 기른 모를 본논에 옮겨 심는 작업
목적	벼의 생육 증진, 수확량 증가
단계별 처리 기술 내용	<p>이앙(모내기) 전 논외 준비는 관행재배와 동일함 다만, SRI는 물관리의 편의와 토양통기를 돕기 위해 일정한 간격마다 고랑을 만들어 줄 수 있음. 고랑은 두둑을 만드는 것과 동일한 효과 를 나타냄</p> <p>◎ 손이앙</p> <ul style="list-style-type: none"> - 이앙시 어린묘(5-7 cm)를 사용 - 이앙시 어린묘를 사용하려면 파종 후 20일 이내에 이앙을 해 야함(파종 후 10-15일경 모를 이용하는 것이 적당함) - 파종 후 15일 경 모의 크기는 약 5-7 cm의 범위를 나타냄. 파 종 후 18일 경 모의 크기는 약 7-10 cm 의 범위를 나타냄 - 모가 2-4엽 정도 성장했을 때 이앙하는 것이 좋음. 하지만, 이 앙시기가 늦어질 때는 4-5엽 정도에 이앙도 가능함 - 이앙시 뿌리에 피해를 최소화하기 위해 이앙시 빠르고, 얇고, 얕게 심어 성장에 장애를 최소화 시킴

- 이앙시에는 뿌리에 붙은 흙과 씨앗이 떨어지지 않도록 조심하며 뿌리가 마르기 전에 이앙해야 함
- 가급적 포기당 넓은 간격을 유지(이앙간격은 최소한 30 cm 이상)하여 한곳에 1주의 어린모를 이앙함. 정사각형을 유지(그림 1)
- 하지만 포기당 2개 또는 3개(삼각형모양)의 형태로 이앙하는 방법도 많은 지역에서 효과적으로 검증됨. 단위면적당 벼의 포기수는 감소하나 모의 밀도는 50% 이상 증가되므로 전체적으로 벼의 생산성이 향상됨 (그림 2). 단, 이앙시간이 오래 걸리는 단점이 있음
- 재식거리가 넓을수록 통풍 및 일조량이 많아 분얼수가 증가하고 생육이 활발함
- 하지만 SRI를 처음 재배하는 논에서의 이앙간격은 25×25 cm 가 추천됨. 관행재배로 토양의 비옥도가 낮은 토양에서 높은 이앙간격(40×40 cm 등)은 충분한 영양을 공급할 수 없어 벼의 생산량이 기대만큼 나타날 수 없기 때문임.



(그림 1) 포기당 1주 이앙 (정사각형 모양)



(그림 2) 포기당 2주 또는 3주(삼각형모양) 이앙

◎ 포트이앙기를 이용한 모내기

- SRI 적용 연구가 아직 이루어지지 않은 상태임
- 노동력 및 시간 단축을 위해 포트 이앙기를 이용하여 모내기가 가능할 것으로 보임. 하지만 포트이앙기의 경우 중모이상의 묘를 이앙하도록 되어 있어 어린모 이앙을 위한 적용성 연구가 필요함
- 일본에서 수입한 기기(기술)라 초기투자비용이 높을 것으로 예상됨

물 관 리 (안) - 예시



정의	시기별 벼생육에 필요한 관개용수 제공
목적	벼의 생육 증진, 수확량 증가
단계별 처리 기술 내용	<ul style="list-style-type: none"> - 논의 효과적인 물관리를 위해 정밀한 평탄화 작업이 요구됨 - 토양은 평탄화 작업 이후에도 작물 생산이 가능하도록 충분히 이용가능한 뿌리 층이 남아있을 수 있을 정도로 깊어야 함 - 토심이 얇은 지역은 관개에 적절할 수 있도록 평탄화 되거나 혹은 농장의 관리면에서 차별적으로 정비될 수 있음 - 평탄화 작업으로 투수성이 높은 지역이 노출되면 전체적인 관개 효율이 저하되므로 평탄화 작업시 투수성이 높은 지층이 노출되지 않도록 주의하여야 함 - 모든 평탄화 작업은 농장의 전반적인 관개시스템의 일환으로 추진하여 농장의 토양과 수자원을 보전할 수 있어야 함 - 논에 일정한 간격으로 고랑을 만들면 관개하기 편하고 또한 고랑에 물이 고여 있는 상태에서도 토양 표면을 호기성상태로 유지하는데 유리함 - 이양 후 초기단계에는 간단관개로 물관리를 함. 비담수재배로 최

소한의 물만 공급함

- 유수형성기 이후에서는 1-2 cm 깊이로 유지될 수 있도록 연속관개를 시행함
- 노동력을 줄이기 위해 3-5일 간격으로 담수하고 건조시키는 간단 관개를 시행하여 좋은 결과를 나타내기도 함
- SRI는 배수가 잘되는 사질토양에서 최선의 효과를 나타냄
- 물대기 전 SRI 시험포의 토양표면에 금이 생기면서 약 1 cm이내의 갈라짐 현상이 나타남
- TDR 측정시: 관개시 토양수분은 약 21-23%의 범위내에 있는 것으로 나타남
- 국제미작연구소 물관리 방법: 국제미작연구소에서 이용하고 있는 물관리 제어 방법을 그림 3에 나타냄. 이 방법은 작은 구멍이 있는 원통형의 장치를 시험포에 압입하고 물이 포화상태(토양표면의 높이와 원통의 수위가 일치)에서 토양표면 아래로 15 cm 내려갔을 때를 기준으로 관개를 시작하여 다시 포화상태로 유지하는 방법으로 실제 물을 언제, 얼마나 대줘야 하는지 정확히 알 수 있는 효율적인 물관리 방법임. 유수형성기에는 토양표면보다 5 cm 위로 수위를 유지하여관개를 함. 이러한 장치를 이용하면 정확하게 언제, 얼마의 양으로 물을 대줘야 하는지 눈으로 식별이 가능하기 때문에 효율적인 물관리를 수행할 수 있음
- SRI 물관리 방법은 비담수재배로 토양을 호기성으로 유지해주므로 온실가스 배출 저감에 효과적임



(그림 3) 효율적인 관개를 위한 물관리 제어 장치

잡초제거 (안) - 예시



정의	벼 이외의 풀(잡초) 제거 작업
목적	벼의 생육 증진
단계별 처리 기술 내용	<ul style="list-style-type: none"> - 잡초제어는 인력이나 제초제를 사용하여 벼재배기간동안 2-3회 시행함 - 농민들은 거의 대부분 제초제를 사용하여 잡초를 제어하고 있음 - 농약의 사용은 편하고 경제적이지는 하나 생산성 증대에는 부정적임 - 장기적으로 유기비료를 많이 사용하면 작물이 튼튼해지고 병충해 저항성이 커 벼 농약 사용량이 상대적으로 작아지나 이는 장기간의 적응기간이 필요함. 따라서 농민을 설득하는 것이 관건임

주 의

1. 이 보고서는 농림수산식품부로부터 연구비를 지원받아 한국농어촌공사 농어촌연구원에서 수행한 연구보고서입니다.
2. 이 보고서의 내용은 연구원의 공식견해와 반드시 일치하는 것은 아닙니다.

■ 발 행 처

용수절약을 위한 SRI 벼재배 적용성 연구(II)

발행일	2011. 12
발행인	정 해 창
발행처	한국농어촌공사 농어촌연구원
주 소	경기도 안산시 상록구 사동 해안로 391번지 전 화 031 - 400 - 1700 FAX 031 - 409 - 6055

※ 이 책의 내용을 무단 전재하거나 복사하면 법에 저촉됩니다.
단, 이 책의 출처를 명시하면 인용이 가능합니다.