Journal of Korean Society on Water Environment, Vol. 32, No. 2, pp. 183-190 (March, 2016)
pISSN 2289-0971 eISSN 2289-098X http://dx.doi.org/10.15681/KSWE.2016.32.2.183

SRI 물관리 방법이 논의 관개용수량과 비점오염원 저감에 미치는 영향

서지연* · 박배경* · 박운지** · 윤광식*** · 최동호*** · 김용석* · 류지철* · 최중대**,†

*국립환경과학원 유역총량연구과
**강원대학교 지역건설공학과
***전남대학교 지역·바이오시스템공학과

Evaluation of SRI Water Management on the Reduction of Irrigation Supply and NPS Pollution in Paddies

Jiyeon Seo* · Baekyung Park* · Woonji Park** · Kwangsik Yoon*** · Dongho Choi*** · Yongseok Kim* · Jichul Ryu* · Joongdae Choi**,†

*National Institute of Environmental Research
**Regional Infrastructure Engineering, Kangwon National University
***Department of Rural & Bio-Systems Engineering, Chonnam National University
(Received 22 January 2016, Revised 2 March 2016, Accepted 8 March 2016)

Abstract

Monitored data (rainfall runoff and water quality) from 4 different paddy sites over 3 years were compared to analyze the effect of irrigation water management on irrigation supply and rainfall runoff quality in Korea. The system of rice intensification water management was adopted at one site (SRI) while the conventional water management method was used for rice culture at the other three sites (CT, SD and HD). The soil texture at SRI, CT and SD was sandy loam while that at HD was silt loam. The average reduction of irrigation supply at SRI compared with CT, SD and HD during the 3 years studied was 49%, 51% and 55%, respectively. The average event mean concentration (EMC) at SRI compared with that at CT, SD and HD was decreased by 35% (BOD), 44% (COD), 47% (SS), 19% (TN) and 38% (TP). The correlation between rainfall runoff and the measured non-point source (NPS) pollutants was very good in general. The comparison revealed that SRI water management significantly reduced both irrigation supply and EMC in rainfall runoff. Paddy NPS pollution was closely related to factors that induce runoff such as rainfall and irrigation supply. It was concluded that SRI management could be an effective and practical option to cope with both water shortage due to climate change and water quality improvement in rural watersheds. However, further studies are recommended in large irrigation districts for use in the development and implementation of NPS pollution policies since the data was collected from field sized paddies.

Key words : EMCs, Irrigation water reduction, NPS pollution, System of rice intensification, SRI

1. Introduction

강우 시 지표유출수와 함께 유출되는 비점오염원은 강우강도나 지속시간과 같은 강우특성과 지표수의 수리 수문학적 특성과 연계되어 있고, 예측과 정량화 그리고 인위적인 조절이 어렵기 때문에 하천수질에 큰 영향을 미친다(Kwon et al., 2014). 특히 농경지로부터 강우 시 유출되는 농업비점오염은 오염 배출 특성에 대한 파악이 어렵고 매우 불규칙하게 발생하며, 영농방법, 지리적 조건 등에 따라 영향을 많이 받는다(Choi et al., 2009; Jung et al., 2008; Jung et al., 2012; Yoon, Cho et al., 2002b). 특히 광범위한 토지에서 발생하는 농업비점오염은 상대적으로 낮은 농도로 넓게 분포하면서도 강우 유출과 함께 거동하여 농촌유역의 오염부하량에 큰 비중을 차지하고 있으므로(Yoon, Kim et al., 2002a) 하천이나 호소 등의 수질 관리를 위해서는 농업비점오염원의 효율적인 관리가 필요하다. 특히 우리나라의 경우 토지이용 중 자연 상태인 산림을 제외하고, 단일 지목 중 논이 차지하는 비율이 15%로 가장 높은 비중임을 감안할 때(Choi et al., 2012; Jeon, 2012), 논은 강우와 재배형태, 물관리 방법 등에 따라 다양한 비점오염원 배출 특성을 갖고 있기 때문에(Jeon et al., 2005) 실용적인 논의 최적관리 기법을 도출하기 위해서는 비점오염에 대한 정량화가 필요하다. 비점오염원은 강우 및 유출에 의해 영향을 받기 때문에 유출에 영향을 주는 관개용수량을 저감하게 되면 비점오염원을 저감할 수 있다(Choi et al., 2013).

† To whom correspondence should be addressed.
jdchoi@kangwon.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이에 비점오염저감 및 관개용수 사용량을 줄일 수 있는 새로운 벼 재배 방법인 SRI(System of Rice Intensification)가 세계적으로 이용되고 있다(Park et al., 2011). SRI방법은 1980년대 마다가스카르에서 시작이 되었으며, 영양염류 저감효과, 관개용수 효율성 증대, 환경 친화적 재배기술, 기후변화 대응, 쌀의 품질개선 등을 할 수 있는 기술로 평가받고 있다(Zhao et al., 2010). SRI는 Wet-dry 재배기법으로 강우 시 물을 저류시키고 관행대비 작물의 영양염류 흡착에 효과적으로 이로 인해 수질이 감소되는 효과가 있다(Zhao et al., 2011). Choi et al. (2015)은 SRI 적용 시 관행대비 수질이 18.6~42.3%, 비점오염부하량이 16.5~53.9% 저감되었다고 하였으며, 연구결과에 따르면 SRI를 적용 시 관행대비 약 40~67% 용수 저감 효과를 나타낸다고 보고하였다(Li et al., 2005; Park et al., 2011; Sato and Uphoof, 2007).

그런데 위의 연구는 SRI와 관행 논을 시험포 단위로 조성하여 진행된 연구로 국한되며, 실제 영농을 수행하는 유역단위의 관행 논과 비교한 자료는 없다. 따라서 본 연구는 SRI 벼 재배방법과 실제 영농이 진행되고 있는 영산강의 논 지역중 실측된 2곳의 논의 자료를 비교하여 강우 시 수질 및 오염부하량 저감효과와 관개 용수량 저감 효과를 살펴보았다. 본 연구에서는 농업 비점오염원 저감대책 방안 수립을 위한 기초자료로 활용 가능성을 검토하고자 하였다.

2. Materials and Methods

2.1. 연구대상지역

본 연구는 강원도와 전라남도의 논 시험포에서 관측한 자료를 사용하였다. 강원도 시험포 지구의 자료는 춘천시 신북읍 천전리 강원대학교 농장에 5 m × 15 m의 논 시험포를 조성하고 3년 동안(2010년~2012년) 실측한 자료이다(Fig. 1). 시험포의 실험처리는 상시담수재배(Conventional (CT))와 Wet-dry를 반복하는 SRI 물관리 방법(System of rice intensification(SRI))이었다. 시험포의 관개용수는 인근의 저수지에서 공급받았다. 전라남도 자료(대조군)는 환경부 환경기초조사사업 주요비점오염원 장기모니터링 조사연구사업에서 수집한 자료이다. 전라남도의 자료는 영산강 유역의 순창 적성지구(Sunchang District (SD))와 섬진강 유역

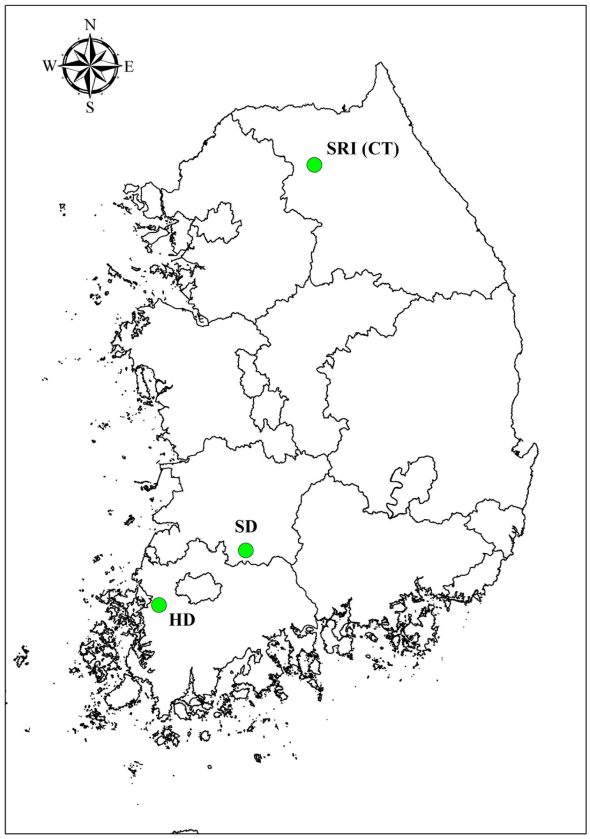

Fig. 1. Location of the study sites SRI·CT, SD and HD.

의 함평 학야지구(Hampyeong District (HD))에서 모니터링 된 자료이다(Yeongsan River, the Seomjin River water systems management committee, 2012). 학야지구(HD)는 13.69 ha의 논 지구로 관개원은 농업기반공사 함평지사에서 관리하는 대동저수지이다. 적성지구(SD)는 8.09 ha의 논 지구로 관개원은 연구 유역에서 약 2.5 km 떨어진 내월양수장 및 점촌양수장이다. 연구기간동안의 평균온도, 강수량 및 일조시간은 Table 1과 같다.

2.2. 벼 재배 실험설계

실험처리는 관행 담수재배(CT) 1처리와 SRI재배 시험포를 조성하였다. 관행재배의 시비와 제초 등의 포장관리는

Table 1. Monthly rainfall, sunshin duration, average air temperature and relative humidity of site in 2010 to 2012

		May	June	July	August	September
SRI & CT	Temperature (°C)	18.1	23.0	25.9	26.5	21.3
	Rainfall (mm)	223.6	181.5	138.1	132.7	174.8
	Sunshine duration (hr/month)	100.7	84.5	391.3	443.1	166.6
	Relative humidity (%)	61.3	65.3	77.6	78.5	75.4
HD	Temperature (°C)	19.2	23.5	26.4	27.2	22.5
	Rainfall (mm)	215.9	165.2	125.4	132.4	185.2
	Sunshine duration (hr/month)	94.8	91.2	353.7	397.9	141.7
	Relative humidity (%)	64.2	70.6	79.5	79.2	72.8
SD	Temperature (°C)	17.5	22.6	25.0	25.7	19.7
	Rainfall (mm)	207.4	209.8	106.7	123.0	146.6
	Sunshine duration (hr/month)	89.4	210.3	479.6	327.3	219.7
	Relative humidity (%)	62.1	67.4	80.7	81.2	78.5

Table 2. Comparison between SRI and conventional practices

Treatment	Age of seedlings (date)	Seedlings per hill	Spacing (cm)	Water management
CT	20-30	3 to 4	30 × 15	Continuous Flooding
HD	20-25	3	30 × 15	Continuous Flooding
SD	20-25	3	30 × 15	Continuous Flooding
SRI	10-15	1 to 3	25 × 25 to 50 × 50	Intermittent irrigation

표준재배법에 준하여 진행하였으며, SRI 재배의 경우 물관리를 제외하고 관행재배와 동일하게 영농관리를 수행하였다. 그리고 각 시험포에는 강우량, 관개량 등을 측정할 수 있는 강우량계, 수도계량기 및 수위계 등의 장비를 설치하였다. 관행재배의 시비, 제초, 병충해 방제 등의 포장관리는 농촌진흥청 표준 재배법에 준하여 진행되었으며(Rural Development Administration, 2000), SRI 재배의 경우 제초작업은 인력으로, 나머지는 관행재배와 동일한 기준으로 영농관리를 수행하였다. 시비량은 표준시비량을 기준($N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$: 110-45-57 kg/ha)으로 각 시험포에 시비하였다. 대조군으로 SD와 HD은 표준재배법에 준하여 재배되었으며 비슷한 시기에 영농관리가 수행되었다(Table 2). 수위 및 유량은 용수로와 배수로 말단부분에 유량계 및 샘플러를 설치하였다. 시비량은 표준시비량을 기준으로 기비와 분얼비, 수비를 나눠서 시비하였다($N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$: 55.5-45-45 kg/ha, 분얼비 : 59.2 N kg/ha, 수비 : 23.2 N kg/ha).

2.3. 시험포 물관리 및 분석방법

관행 시험포(CT)와 대조군 시험포(SD, HD)의 물 관리는 이앙기부터 낙수기까지 기존 물관리 방법에 의거하여 시기별로 이루어졌다(Korea Rural Community Corporation, 2012). SRI의 물 관리 방법은 미국 코넬대학교 Norman Uphoff 교수가 중국의 논 농업지역을 방문하고 조사한 기록을 참고하여 SRI 원칙에 부합할 수 있는 물관리 방법을 수행하였다(CIIFAD, 2010). SRI는 사질양토에서 가장 효과적이며, 토양의 생물학적 활성도를 증가시키기 위해 배수가 좋으며 토양통기성이 유지될 수 있도록 물 관리를 해야 한다(Hameed et al., 2011). 본 연구에서는 이러한 내용을 기초로 모내기 후 간단관개로 약 1 cm 깊이로 물을 대고 3~4일 간격 또는 기상조건에 따라 1~2일 간격으로 물 관리를 수행하였다.

토양은 물수지, 영양물질 수지 및 벼의 생육과 수확량에 많은 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 연구의 토성을 조사하기 위하여 CT, SRI, SD, HD의 토양시료(표토)를 채취하였으며 입도분석을 통해 미국 농무성 삼각좌표법을 이용하여 토성을 분류하였다. 그리고 관개에 이용되는 농업용수(저수지)를 채수하여 수질분석을 수행하였으며 2010년부터 2012년까지 관개기간동안(5월~9월) 강우량, 관개량 등을 측정하고 수질시료를 채수하여 수질오염공정시험방법(MOE. 2011) 및 Standard Method(APHA, 2012)에 준하여 수질분석을 수행하였다.

2.4. EMCs 산정 및 통계분석

강우 사상별로 유출되는 비점오염 부하는 하천 유량에 오염물질 농도를 곱하여 산정하였다. 총 강우사상 유출부하를 총 유출량으로 나누면 유량가중평균농도, 즉 EMCs (Event Mean Concentration)를 산정할 수 있으며, 수식으로 나타내면 식 (1)과 같다.

$$EMCs = (Q_i \cdot C_i)/\sum Q_i \quad (1)$$

여기서, Q_i는 각 강우사상에서 i번째 관측된 유출량(m^3/hr), C_i는 각 강우사상에서 i번째 관측된 오염물질 농도(mg/L)이다. 강우사상별로 산정된 유량가중평균농도는 강우로 인해 발생되는 유출수의 수질을 직접 평가할 수 있다는 측면에서 매우 유용하게 사용되고 있다(Jeong et al., 2007). 그리고 강우특성과 산정된 EMCs 사이의 상관성을 알아보기 위해 SPSS 통계 프로그램을 이용하여 상관분석을 실시하였다.

3. Results and Discussion

3.1. 관개용수 수질 및 토성

본 연구에 사용된 농업용수의 수질 기준 적합성을 평가하기 위해 연구기간동안 순별로 시료를 채수하여 수질을 분석하였다. 농업용수 수질 측정결과 CT, SRI, SD, HD에 사용되었던 농업용수 모두 국내 농업용수 기준에 적합한 것으로 나타났다(Table 3).

SRI·CT, SD, HD의 토성 분류는 Table 4와 같다. 일반적인 우리나라 논토양 입경분포는 모래 34.8%, 실트 45.4%, 점토 20.2%로 나타나는데 입도시험결과 SRI·CT, SD의 경우 모래성분이 약 10% 이상 높은 것으로 조사되었고 HD는 약 20% 이하 낮은 것으로 조사되었다.

Table 3. Irrigation water quality standard and measured average irrigation water quality during the study period between 2010 to and 2012

Irrigation standard		Measured average irrigation water quality		
Water quality	Standard	SRI·CT	SD	HD
pH	6.0~8.5	7.5	8.1	8.0
BOD_5 (mg/L)	≤8	2.47	2.81	2.42
COD (mg/L)	≤9	5.47	4.78	5.02
SS (mg/L)	≤100	15.47	22.03	24.59
DO (mg/l)	≥2	5.67	-	-
T-N (mg/L)		2.086	2.424	2.328
T-P (mg/L)	-	0.078	0.130	0.144
EC (dS/m)		0.119	0.166	0.188

Table 4. Results of particle size and soil texture analyseis of the study sites

Site	Particle fraction (%)			Soil texture
	Sand	Silt	Clay	
Korean paddy average	34.8	45.4	20.2	Loam
SRI · CT	49.0	34.8	16.2	Loam
HD	11.7	61.4	26.9	Silt Loam
SD	56.6	42.3	1.1	Sandy Loam

3.2. 관개용수 사용량

관개는 지역별, 시기별로 다소 차이를 보이고 있으나 대체적으로 4월 중순부터 시작하여 9월 말경에 종료하게 된다. 본 연구에서는 5월부터 9월까지 용수량을 측정하였으며, 각각의 평균 관개용수 사용량은 Table 5와 같다. 강수량의 경우 연도별, 지역적 차이로 인해 SRI·CT 지구가 높았지만 비슷한 강우패턴을 보여줬다(Fig. 2). CT, HD, SD 및 SRI의 3년 평균 관개용수 사용량은 각각 693.1 mm, 655.62 mm, 612.41 mm 그리고 336.4 mm로 측정되었다. 관행방법대비 SRI 물관리 방법의 평균 관개용수 저감률은 약 51.6%로 매우 높게 나타났다. 본 결과는 Zhao et al. (2010)와 Satyanarayana et al. (2007)의 연구결과 (저감율 57.2%, 50.0%)와 유사하다. SRI 물 관리 방법은 SRI 연구가 수행된 한강 상류뿐만 아니라 전라남도 영산강과 섬진강의 곡창지대에서도 매우 높은 물 절약효과가 있는 것으로 나타나 기후변화로 나타나는 심각한 가뭄과 용수관리에 매우 효율적인 관개방법으로 판단되었다.

Hwang et al. (2004)과 Jeon et al. (2005)은 국내 논 연구를 종합하여 관개수를 줄이면 논 시스템 내 저류 공간 확보로 강우에 따른 오염물질 유출을 감소할 수 있다고 보고한바 있다. SRI는 wet-dry 재배를 원칙으로 이를 관행 논에 적용할 경우 강우 시 많은 물을 저류 시킬 수 있을 것으로 사료되며, 이에 따른 비점오염의 감소효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

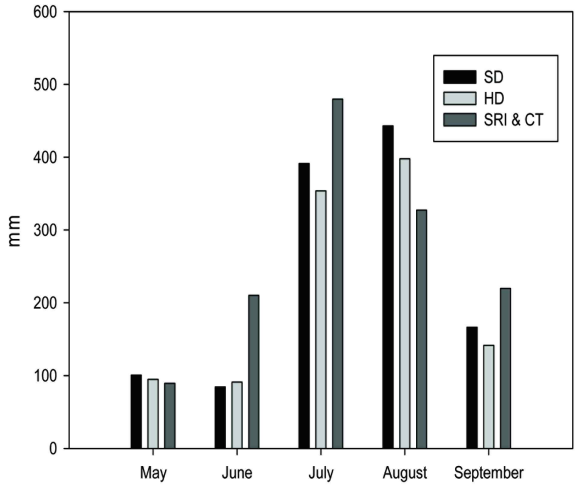

Fig. 2. Three-year average monthly rainfall of at the study sites during cropping season between May.

3.3. EMCs

2010년 5월부터 2012년 9월까지 각 지점에서 20~23회의 강우사상에 대하여 모니터링을 수행하였다. 논의 유출수는 관개량이 크지 않을 경우 강우량에 많은 영향을 받으며 (Yoon et al., 2000), 이를 바탕으로 실측한 수질과 유량자료는 국립환경과학원 강우유출수 조사방법(2012)에 따라 강우계급을 고려한 후 대표 EMCs를 산정하였다(Table 6).

관행논의 경우 CT, SD, HD의 경우 비슷한 수준의 농도가 배출되었고 비담수 재배인 SRI 영농방법은 관행영농방법에 비하여 평균적으로 BOD_5 35%, COD 44%, SS 47%, T-N 19%, T-P 38%의 농도저감효과가 있는 것으로 나타났다.

또한 각 관측지구에서 측정된 강우사상별 EMCs의 Box 그래프는 Fig. 3과 같다. Box 그래프의 최하단은 백분위 25% 값 그리고 최상단은 백분위 75% 값을 의미한다. 각 지구별 비점오염원의 EMCs의 범위는 SS 1.79~462.00 mg/L, T-N 0.26~10.35 mg/L, T-P 0.005~0.947 mg/L, BOD_5 0.24~8.74 mg/L, COD 1.76~28.75 mg/L로 변화폭이 상당히 큰 것으로 나타났다. EMCs 백분위 25~75% 농도범위는 관행재배보다 SRI 물관리에서 비교적 낮게 나타났다. 농도의 변화폭이 크다는 점은 비점오염원의 대표적인 특성으로 볼 수 있다. SRI의 농도변화가 상대적으로 작은 이유는 비담수 재배로 강우 시 논 저류량이 크기 때문에 유출량의 변동 폭이 상대적으로 작기 때문인 것으로 판단된다. 반면에 용해성이 높은 질산염 등이 포함되는 T-N EMCs는 관행이나 SRI에서 차이를 보이지 않았다. 이와 같은 이유로 질소에 의한 지표 및 지하수의 오염은 우리나라 농업유역에서 가장 흔히 발생되는 문제이다(Choi et al., 2001). 논 유출수의 비점오염원 농도는 일반적으로 높지 않다. 그러나 논의 유출량이 많기 때문에 비점오염원 부하는 상당히 클 수 있다. 따라서 논의 비점오염부하는 강우뿐만 아니라 물 관리와 시비관리 등과 같은 인위적인 요인에 크게 좌우된다. 이와 같은 이유로 관개용수 공급량이 작은 SRI 물관리 방법을 채택하면 관개용수의 저감 뿐만 아니라 비점오염부하도 함께 저감되어 수계의 수질개선에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 5. Three-year average irrigation depth of for each treatment and irrigation reduction effect by from SRI

Treatment	Rainfall (mm)	Irrigation (mm)	Reduction by SRI (%)
CT	1,326	693	49
SD	1,186	612	51
HD	1,079	656	55
SRI	1,326	336	-

Table 6. Three-year average event mean concentration (EMC) of at the study sites (mg/L)

Treatment	BOD_5	COD	SS	T-N	T-P
CT	2.53	8.17	66.51	3.19	0.42
SD	3.97	11.42	79.22	3.05	0.40
HD	3.85	11.54	61.16	3.29	0.44
SRI	1.84	5.65	34.54	2.55	0.26

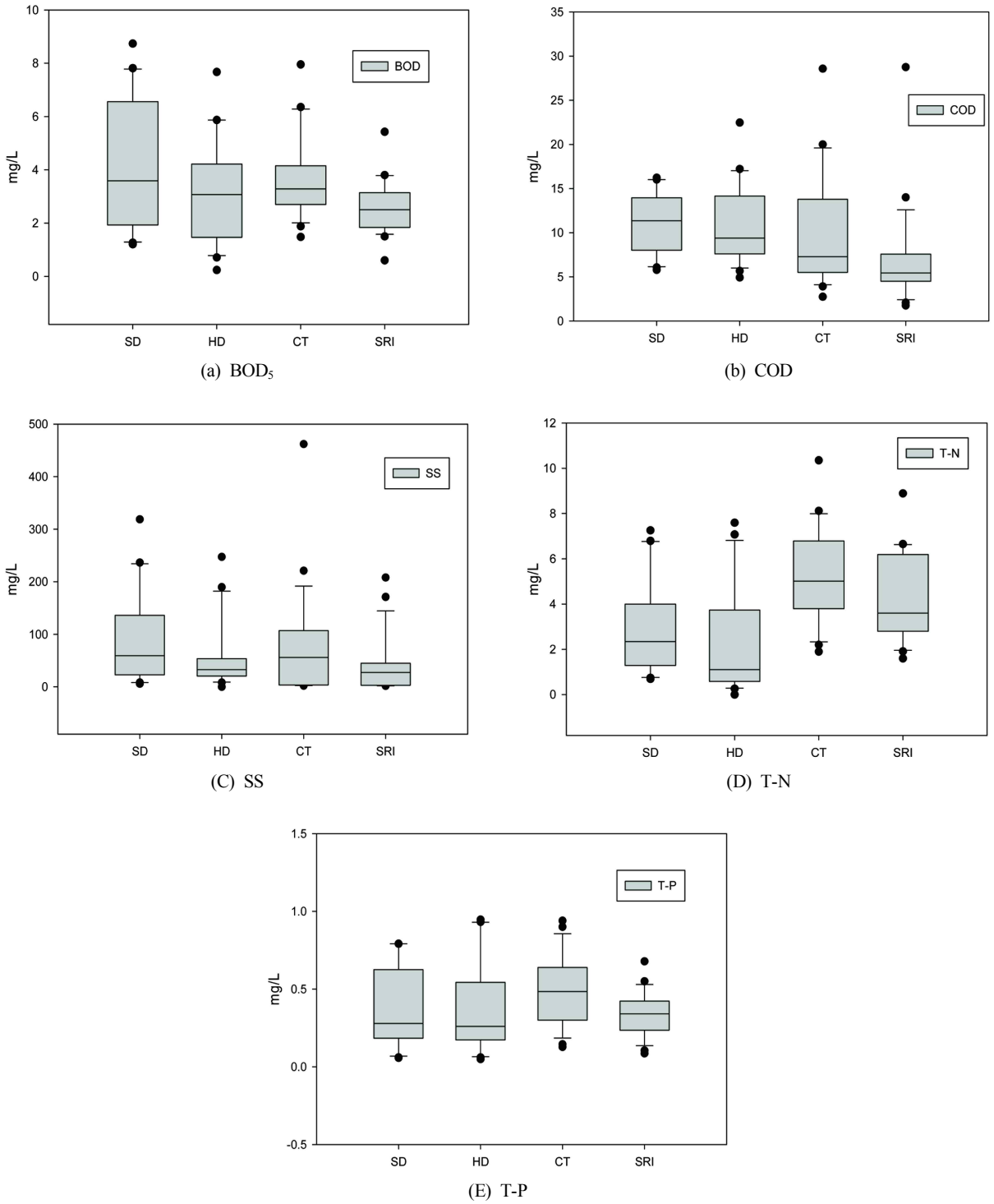

Fig. 3. Variation of EMCs of at the study sites.

3.4. 상관도 분석

Table 6은 유량과 비점오염부하 사이의 상관관계를 보여준다. 상관계수는 -1에서 +1까지의 값을 갖는데, -1 또는 +1의 관계를 갖는 경우 완전 상관이라고 하며 0인 경우는 무상관이라고 한다. Won et al. (2009)에 의하면 상관계수의 절대값이 0.6 이상일 경우 상관관계가 높다고 말하며 0.3 이하는 상관관계가 낮다고 하였다.

유량과 비점오염부하의 상관도는 CT에서는 BOD_5를 제외한 모든 항목, SD와 SRI에서는 SS를 제외한 모든 항목, HD에서는 모든 항목에서 유의수준 1% (p=0.01)에서 높게 나타났다. SS와 COD는 다른 오염부하와의 사이에서 유의수준 5%(p=0.05)에서 양의 상관관계에 있었다. 그리고 T-N과 T-P는 유량과 다른 오염부하 사이에서 유의수준 1% (p=0.01)에서 높은 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 논의 비점오염부하는 강우나 물 관리 등 유출기작에 영향을 주는 인자들과 높은 상관관계가 있다. 따라서 이들 인자를 효율

Table 7. Correlation analysis results between for flow and pollutant load of at the study sites

		Flow	BOD_5	COD	SS	T-N	T-P
CT	Flow	1	0.354	0.872**	0.882**	0.820**	0.965**
	BOD_5		1	0.778**	-0.101	0.800**	0.813**
	COD			1	0.354	0.883**	0.843**
	SS				1	0.349	0.337
	T-N					1	0.964**
	T-P						1
SD	Flow	1	0.785**	0.934**	0.487*	0.810**	0.630**
	BOD_5		1	0.896**	0.380	0.870**	0.416
	COD			1	0.463*	0.932**	0.550*
	SS				1	0.386	0.867**
	T-N					1	0.509*
	T-P						1
HD	Flow	1	0.564**	0.898**	0.684**	0.589**	0.893**
	BOD_5		1	0.683**	0.733**	0.650**	0.589**
	COD			1	0.576**	0.665**	0.589**
	SS				1	0.441*	0.650**
	T-N					1	0.619**
	T-P						1
SRI	Flow	1	0.801**	0.771**	0.431*	0.967**	0.912**
	BOD_5		1	0.565**	-0.083	0.779**	0.633**
	COD			1	0.443*	0.780**	0.692**
	SS				1	0.449*	0.575**
	T-N					1	0.963**
	T-P						1

* and ** mean that the values are different significantly different at $p<0.01$ (**) and at $p<0.05$ (*), respectively

적으로 제어할 수 있으면 논의 비점오염원을 효율적으로 저감할 수 있을 것으로 판단된다.

4. Conclusions

본 연구는 한강유역에서 SRI 물 관리 논벼 재배 실험 시 측정한 수량과 수질자료 그리고 영산강과 섬진강의 2개 논 지구에서 측정한 유량과 수질자료를 비교하여 SRI 물 관리 방법이 관개수량과 논 비점오염원에 미치는 영향을 분석하여 다음의 결과를 구할 수 있었다.

1) SRI, CT 그리고 SD 지구의 토양의 모래함량은 우리나라의 평균함량보다 약 10% 이상 높았고, HD 지구는 모래가 약 20% 이하 낮았다. SRI 물관리 방법은 배수가 잘 되는 지역에서 효과적이므로 미사질 양토의 HD 지구보다는 사질양토의 SD 지구에 적용하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.
2) SRI 물관리 방법의 3년 평균 관개용수 저감률은 CT, SD 그리고 SD에 비하여 각각 49%, 51% 그리고 55%로 매우 높게 나타났다. SRI 물관리 벼 재배방법은 기후변화 등으로 예상되는 관개용수 부족에 대응할 수 있는 매우 효과적인 방법으로 나타났다.
3) 관행재방법인 CT, SD 그리고 HD에서 유출수의 평균 비점오염원 EMCs는 비슷하였다. 그러나 SRI 물관리 방법은 CT, SD 그리고 HD에 비하여 평균적으로 BOD_5 35%, COD 44%, SS 47%, T-N 19%, T-P 38%의 EMCs 저감 효과가 있었다.
4) 유량과 비점오염부하 사이의 상관관계는 CT에서 BOD_5를 제외한 모든 항목, SD와 SRI에서는 SS를 제외한 모든 항목, HD는 모든 항목에서 유의수준 1% (p=0.01)에서 높은 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 논에서의 비점오염원 배출은 강우와 물 관리 등 유출을 유발시키는 인자와 높은 상관관계가 있으며 이들 인자를 제어하면 효과적으로 비점오염원을 저감시킬 수 있을 것으로 판단된다.
5) 본 연구는 2010년부터 2012년까지 3년 동안 경지단위에서 강우유출수를 조사한 결과로서 관개지구단위의 강우유출수와 수질과는 다를 수 있다. 따라서 경지단위와 지구단위에서 SRI 물 관리 방법의 효과를 추가적으로 측정하고, 다양한 지구의 자료와 비교하여 범용화 할 수 있는 자료를 생성할 필요가 있다. 범용화 된 자료는 향후 가뭄대비 용수절약뿐만 아니라 논의 비점오염원을 효과적으로 제어하여 유역의 수질관리에 유용한 자료로 활용할 수 있을 것이다.

References

American Public Health Association. and American Water Works Association. (2012). *Standard Methods for Examination of water and Wastewater*, American Public Health Association, Washington, D.C.

Choi, D. H., Yoon, K. S., Jung, J. W., Choi, W. J., Lee, K. S.,

Lim, S. S., and Lim, B. J. (2012). Water Quality and Load Charateristics of Irrigation Water from Agricultural Reservoir, *Koream National Committee on Irrigation and Drainage*, 19(2). pp. 71-80. [Korean Literature]

Choi, J. D., Kim, G. Y., Park, W. J., Shin, M. H., Choi, Y. H., Lee, S. I., Kim, U. J., and Yun, D. K. (2014). Effect of SRI Water Management on Water Quality and Greenhouse GAS Emissions in Korea, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 63, pp. 263-270.

Choi, J. D., Kim, G. Y., Park, W. J., Shin, M. H., Choi, Y. H., Lee, S. I., Lee, D. B., and Yun, D. K. (2015). Effect of SRI Methods on Water Use, NPS Pollution Discharge, and GHG Emission in Korean Trials, *Paddy Water Environment*, 13, pp. 205-213.

Choi, J. K., Koo, J. W., Son, J. G., Yoon, K. S., and Cho, J. Y. (2001). Nutrient Balance and Runoff Loading During Cropping Period from a Paddy Plot in Maryeong Irrigation Distict, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 43(5), pp. 153-162. [Korean Literature]

Choi, J. D., Park, W. J., Park, K. W., and Lim, K. J. (2013). Feasibility of SRI Methods for Reduction of Irrigation and NPS Pollution in Korea, *Paddy Water Environment*, 11, pp. 241-248.

Choi, Y. H., Won, C. H., Seo, J. Y., Shin, M. H., Yang, H. J., Lim, K. J., and Choi, J. D. (2009). Analysis and Comparison about NPS of Plane Field and Alpine Field, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 25(5), pp. 682-688. [Korean Literature]

Cornell International Institute for Food, Agriculture and Development (CIIFAD). (2010). *Cornell University College of Agriculture and Life Sciences*, http://sri.ca;s.cornell.edu/aboutsri/origin/index.html (accessed Jan. 2016).

Hameed, K. A., Mosa, A. K. J., and Jaber, F. A. (2011). Irrigation Water Rreduction Using System of Rice Intensification Compared with Conventional Cultivation Methods in Iraq, *Paddy Water Environment*, 9, pp. 121-127.

Hwang, H. S., Kong, D. S., Shin, D. S., and Jeon, J. H. (2004). Characteristics of Nutrient Export from Paddy Fields with Irrigation Practices, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 20(6), pp. 597-602. [Korean Literature]

Jeon, J. H. (2012). Paddy in LIDMOD2 Model for Predicting NPS Pollution, *Rural Resources*, 54(1), pp. 26-33. [Korean Literature]

Jeon, J. H., Yoon, C. G., Choi, J. K., and Yoon, K. S. (2005). The Comparison of Water Budget and Nutrient Loading from Paddy Field According to the Irrigation Methods, *Korean Journal of Limnology*, 38(1), pp. 118-127. [Korean Literature]

Jeon, W. T., Hur, S. O., Seong, K. Y., OH, I. S., Kim, M. T., and Kang, U. G. (2011). Effect of Green Manure Hairy vetch on Rice Growth and Saving of Irrigation Water, *Korean Society of Soil Science and Fertilizer*, 44(2), pp. 181-186. [Korean Literature]

Jeong, D. H., Shin, D. S., Rhew, D. H., and Jung, D. I. (2007). Stormwater Runoff Characteristics of Non-Point Source Pollutants according to Landuse of Urban Area, *Environment Impact Assessment*, 16(6), pp. 525-532. [Korean Literature]

Jung, J. W., Yoon, K. S., Choi, D. H., Lim, S. S., Choi, W. J., Choi, S. M., and Lim, B. J. (2012) Water Management Practices and SCS Curve Numbers of Paddy Fields Equipped with Surface Drainage Pipes, *Journal of Agricultural Water Management*, 110, pp. 78-83.

Jung, J. W., Yoon, K. S., Choi, W. J., Choi, W. Y., Joo. S. H., Lim, S. S., Kwak, J. H., Lee, S. H., Kim, D. H., and Chang, N. I. (2008). Improvement Measures of Pollutants Unit-Loads Estimation for Paddy Fields, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 24(3), pp. 291-296. [Korean Literature]

Korea Rural Community Corporation. (2012). *Paddy Cultivation using SRI Technology for Irrigation Water Saving (III)*, 11-1541000-001612-01, Korea Rural Community Corporation, pp. 69. [Korean Literature]

Kwon, H. G., Lee, J. W., Yi, Y. J., and Cheon, S. U. (2014). Verification of Nonpoint Sources Runoff Estimation Model Equations for the Orchard Area, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 30(1), pp. 8-15. [Korean Literature]

Li, X., Xu, X., and Li, H. (2005). *Cornell University College of Agriculture and Life Sciences*, USA.http://sri.cals.cornell.edu/countries/china/cnciadeng.pdf (accessed Jan. 2016).

Ministry of Environment (MOE). (2011). *Official Testing Method with Respect to Water Pollution Process*. [Korean Literature]

Park, W. J., Choi, Y. H., Shin, M. H., Won, C. H., Park, K. W., and Choi, J. D. (2011). Evaluation on Feasibility of System of Rice Intensification(SRI) for Reduction of Irrigation Water in South Korea, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 53(4), pp. 1-9. [Korean Literature]

Rural Development Administration. (2000). *Rice Labor Saving Culture*, 11-1390000-000754-01, Rural Development Administration. [Korean Literature]

Sato, S. and Uphoof, N. (2007). *A Review of on-farm Evaluation of System of Rice Intensification (SRI) Methods in Eastern Indonesia. Commonwealth Agricultural Bureau Intl (CABI) Review*, Wallingford, UK, 2, pp.1-12.

Satyanatayana, A., Thiyagarajan, T. M., and Uphoff, N. (2007). Opportunities for Water Saving with Higher Yield from the System of Rice Intensification, *Irrigation Science*, 25(2), pp. 99-115.

Won, C. H., Choi, Y. H., Seo, J. Y., Kim, K. C., Shin, M. H., and Choi, J. D. (2009). Determination of EMC and Unit Loading of Rainfall Runoff from Forestry-Crops Field, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 25(4), pp. 615-623. [Korean Literature]

Yeongsan River, the Seomjin River Water Systems Management Committee. (2012). *Research on Long Term Monitoring for the Nonpoint Source Pollution Report*, 11-B551192-000016-01, Yeongsan River, the Seomjin River Water Systems Management Committee. [Korean Literature]

Yoon, C. K., Kim, B. H., Jeon, J. H., and Hwang, H. S. (2002a). Charateristics of Pollutant Loading reom Paddy Field Area with Croundwater Irrigation, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 44(5), pp. 116-126. [Korean Literature]

Yoon, K. S., Cho, J. G., Han, K. H., Choi, J. K., Son, J. G., and Cho, J. Y. (2002b). Sediment Losses from a Paddy Plot during Cropping Period, *Korean Society of Rural Planning*, 8(1), pp. 69-76. [Korean Literature]

Yoon, K. S., Choi, J. K., Cho, J. Y., Son, J. G., and Koo, J. W. (2000). Comparison of Initial and Mean Concentrations of

Nitrogen and Phosphorus in Runoff Reom a Paddy Field, *Korean National Committee of Irrigation and Drainage*, 7(1), pp. 27-35. [Korean Literature]

Zhao, L., Wu, L., Wu, M., and Li, Y. (2011). Nutrient Uptake and Water Use Efficiency as Affected by Modified Rice Cultivation Methods with Reduced Irrigation, *Paddy Water Environment*, 9, pp. 25-32.

Zhao, L., Wu., L., Li., Y., Animesh., S., Zhu., D., and Uphoff, N. (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.