

Response of Nutrient Dynamics with Topography during the Rice Cultivation in Paddy Field

Min Kyeong Kim*, Soon Kun Choi, Myung Hyun Kim, Seong Chang Hong, Na Young Park,
 Seung Oh Hur, and Kyu Ho So

Department of Agricultural Environment, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

(Received: June 23 2016, Revised: August 5 2016, Accepted: August 12 2016)

This study aimed to evaluate the nutrient load balance from rice paddy fields with different topographies, alluvial plain and local valley. Continuous monitoring from May to September, 2013 was conducted for water quantification and qualification from alluvial plain in Yeosu region (32 ha) and local valley in Jincheon region (24 ha). The discharge rates of T-N from the alluvial plain were 57.2, 5.84, 22.7, and 5.20 kg ha⁻¹ for irrigation, precipitation, drainage, and percolation, respectively. In case of local valley, T-N loads were 34.6, 4.73, 21.1, and 4.15 kg ha⁻¹ for irrigation, precipitation, drainage, and percolation, respectively. In contrary, the T-P loads from the alluvial plain were 2.23, 2.22, 2.54, and 0.41 kg ha⁻¹ for irrigation, precipitation, drainage, and percolation, respectively. In case of local valley, T-P loads were 1.44, 1.57, 1.82, and 0.34 kg ha⁻¹ for irrigation, precipitation, drainage, and percolation, respectively. The nutrient contents in drainage water were influenced by the amount of waters, rainfall, and surface drainage water. The Pearson correlation analysis showed that rainfall was significantly correlated with nutrient loads from July to August due to the amount of runoff in local valley paddy field, and irrigation was related with nutrient loads of drainage from July to August. This study showed that paddy rice farming in alluvial plain and local valley might be beneficial to water quality protection.

Key words: Rice paddy field, Alluvial Plain, Local Valley, Nitrogen, Phosphorus

Nitrogen and phosphorus balance in the studied areas with different topography during the rice cultivation period in 2013.

Properties	Sample	Alluvial plain		Local valley	
		T-N	T-P	T-N	T-P
		----- kg ha ⁻¹ -----		----- kg ha ⁻¹ -----	
Input	Irrigation	57.2	2.23	34.6	1.44
	Precipitation	5.84	2.22	4.73	1.57
	Fertilization	130.0	43.0	122.0	40.0
	Subtotal	193.0	47.5	161.3	43.0
Output	Drainage	22.7	2.54	21.1	1.82
	Percolation	5.20	0.41	4.15	0.34
	Plant uptake	111.2	38.6	83.8	39.9
	Subtotal	139.1	41.6	109.1	42.1

*Corresponding author: Phone: +82632382502, Fax: +82632383823, E-mail: kimmk72@korea.kr

§Acknowledgement: This research was supported by Rural Development Administration (PJ010890).

Introduction

우리나라 전체 농경지 면적의 60% 이상을 차지하는 논은 관개와 낙수라는 특수한 물 관리가 이루어지기 때문에 같은 논이라 할지라도 비료사용량, 시비방법, 시비시기, 관개용수 및 강우특성에 따라 양분물질의 유입 및 유출량이 다르다 (Kang et al., 2010; Song et al., 2012; Yoon et al., 2003). 벼 재배기간 동안 관개, 강우, 시비 등에 의해 논에 양분물질이 유입되는데, 일부 양분물질이 벼의 생장에 이용되지 않고 물꼬를 통해 지표 배출되어 수계의 부영양화 문제를 초래한다. 특히, 질소와 인은 벼 생육의 필수요소이지만 수계로 배출되었을 때는 조류발생에 필요한 양분물질이 된다 (Kim et al., 2006; Lee et al., 2014; Somura et al., 2009). 이와 같이 농업에서 발생하는 오염원은 주변 하천이나 호소에 비점오염원으로 작용할 수 있다 (Choi et al., 2012; Kim et al., 2005a; Kim et al., 2005b; Song et al., 2013). 이들은 전체 수계 유입 오염부하의 약 30%에 해당하고 그 기여율은 지속적으로 증가하는 추세이다. 특히 논은 4월에서 9월까지 농업용수의 80% 이상이 사용되는 만큼 수계에 직접적으로 미칠 수 있는 영향이 크다 (MOLTM, 2011; Song et al., 2012).

2011년 기준으로 논의 관개량은 전체 논 면적 중 80.6%가 수리시설물을 통해 공급받고 있어 (MIFAFF, 2012), 벼농사에 있어 관개의 공급은 용이한 실정이다. 관개수원 및 관개방법에 따라 논에서의 수문 및 수질 모니터링 결과는 상이하게 나타날 수 있다. 논의 입지조건이 다른 평탄지 논과 곡간지 논은 관개와 배수의 형태가 다르기 때문에 수량 및 수질의 차이가 커서 이에 관한 연구가 필요하다.

최근 지구온난화에 따른 기온 증가, 강수량 증가와 계절별 강우 편차 및 강우 강도의 변화는 관개기간 동안 작물의 생산을 위한 가용 수자원의 감소를 초래할 것으로 보고되고 있다 (IPCC 2007; 2008). 논은 다른 영농형태에 비해 관개량이 많이 요구되어 점점 더 가속화 되고 있는 기후변화에 더 취약할 수 있다. 또한 강우를 매개로 하는 비점오염원의 유출도 심화될 것으로 예상되어 실제 여러 형태의 논에서 장기간에 걸친 모니터링 자료 확보가 필요하다.

따라서 본 연구는 입지조건이 다른 평탄지 논과 곡간지 논에서 벼 재배기간 동안 벼농사가 주변 수계에 미치는 영향을 평가하고자 2013년 4월부터 10월까지 경기도 여주시 능서면 오계2리에 위치한 평탄지 논과 충청북도 진천군 문백면 은탄리에 위치한 곡간지 논이었다 (Fig. 1). 여주의 평탄지 논은 대 구획 경지정리 사업을 시행하여 표준 단위구획 면적이 1 ha (100 m × 100 m)로 되어 있다. 용·배수로는 콘크리트 개수로로 되어 있고 용·배수는 분리되어 있다. 관개수는 남한강 본류의 물을 용수원으로 취수하여 이용하고 있다. 진천의 곡간지 논도 경지정리 사업을 시행하여 용·배수로는 콘크리트 개수로로 되어 있으나 용·배수로는 따로 분리되어 있지 않고 혼재되어 있다. 관개수는 미호천을 용수원으로 취수하여 이용하고 있다. 여주와 진천 모두

Materials and Methods

조사지역 개요 본 연구의 조사지역은 경기도 여주군 능서면 오계2리에 위치한 평탄지 논과 충청북도 진천군 문백면 은탄리에 위치한 곡간지 논이었다 (Fig. 1). 여주의 평탄지 논은 대 구획 경지정리 사업을 시행하여 표준 단위구획 면적이 1 ha (100 m × 100 m)로 되어 있다. 용·배수로는 콘크리트 개수로로 되어 있고 용·배수는 분리되어 있다. 관개수는 남한강 본류의 물을 용수원으로 취수하여 이용하고 있다. 진천의 곡간지 논도 경지정리 사업을 시행하여 용·배수로는 콘크리트 개수로로 되어 있으나 용·배수로는 따로 분리되어 있지 않고 혼재되어 있다. 관개수는 미호천을 용수원으로 취수하여 이용하고 있다. 여주와 진천 모두

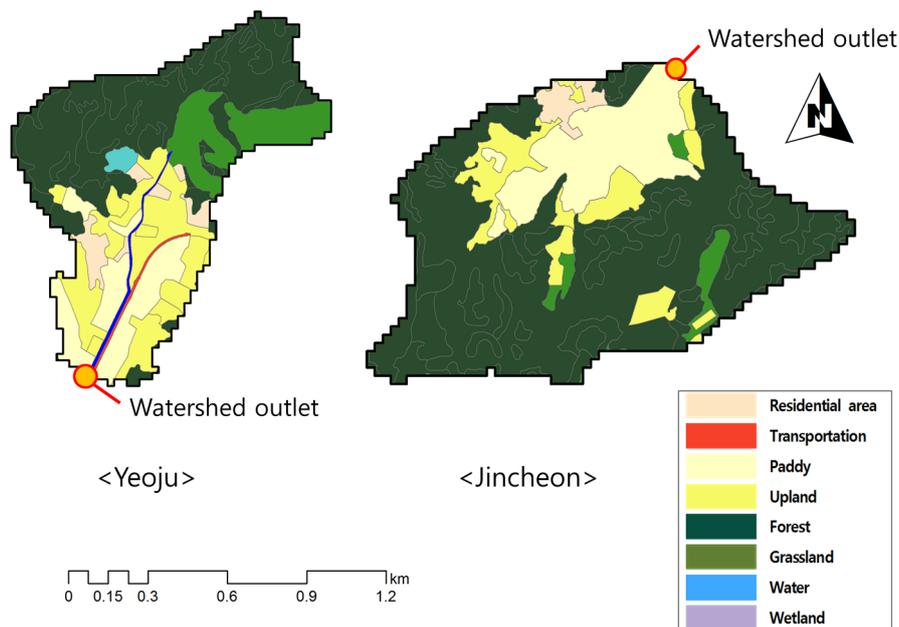


Fig. 1. Location of the sampling sites and measurement points at the study areas in Yeosu (left) and Jincheon (right).

Table 1. Characteristics of the paddy fields in the studied areas, Yeosu and Jincheon.

Region	Total area	Field area	Topography	Drainage	Soil texture	Basic material
	ha	ha				
Yeosu	136	32	Alluvial plain	Well-drained	Sandy loam	Granite gneiss
Jincheon	111	24	Local Valley	Well-drained	Clay loam	Granite

관개시기에 양수장에서 하천수를 펌핑하여 관개수로 공급하였다. 관개수는 4월 하순부터 시작되었으나, 7월 상순부터 7월 중순 사이에 공급이 중단된 후 7월 하순에 재개되어 8월 초순에 종료되었다. 한편 배수는 용수보다 한 달 늦은 5월 중순부터 시작되어 9월 하순에 종료되었다.

조사지역인 여주의 논은 하성평탄지에 위치하고 있으며, 평탄지 논 면적은 32 ha로 전체 지역의 24%를 차지한다. 여주의 평탄지 논 토양은 배수가 양호하며, 토성은 사질 양토이다. 진천의 논은 곡간지에 위치하고 있으며, 곡간지 논 면적은 24 ha로 전체 지역의 22%를 차지한다. 진천의 곡간지 논은 계단식 논 형태로 위에 있는 논으로부터 배수된 물이 아래 논으로 배출된다. 진천의 곡간지 논 토양의 배수는 양호하며, 토성은 식양토이다 (Table 1).

조사지역의 영농활동은 5월 초순에 경운 후 기비를 투입하고 5월 중순에 이앙을 하였고, 10월 초순에 수확하였다. 농가를 대상으로 시비시기 및 시비량을 조사한 결과, 두 지역 모두 질소는 기비 (화학비료+똥짚퇴비), 5월 말부터 6월 초순에 분얼비 그리고 7월 중순부터 8월 중순에 이삭비를 시비하였다. 인은 기비로만 시비하였다. 재배기간 동안 평탄지 논 평균 시비량은 질소와 인이 각각 13.0과 4.3 kg 10a⁻¹이었으며, 곡간지 논은 질소와 인이 각각 12.2와 4.0 kg 10a⁻¹로 두 지역의 시비량은 비슷하였다.

유량 및 수질 조사방법 조사지역의 유량 및 수질측정은 2013년 5월부터 9월까지 벼 재배기간을 중심으로 이루어졌다. 논 물수지 분석을 위해 강우량을 포함한 기상요인, 논 포장 관개수량과 배출수량, 침투수량을 측정하였다. 각 조사지역 내 마을회관과 농가 옥상에 간이 AWS (Automatic Weather Station)를 설치하여 강우량을 측정하였다. 논 관개수량과 배출수량은 논의 유입 및 유출지점에 초음파 수위계 (Automation Sensors, SU, USA)를 설치하여 수위를 측정하였다. 증발산량은 AWS에서 수집한 평균온도, 상대습도, 평균풍속, 일사량과 작물계수 (Yoo et al., 2006)를 이용하여 Penman-Monteith 공식으로 산정하였다. 침투수량은 감수심계를 설치하여 감수심과 증발산량의 차이로 산정하였다.

수질시료의 경우 관개수는 주 1회 채취하였고, 배출수는 유출이 발생할 경우에 채취하였다. 강우는 조사지역 내 강우채취기 (AQUA Control, Japan)를 설치하여 채취 및 분석하였다. 침투수는 논에 60 cm 깊이로 Porus cup을 매설하

여 중간낙수기인 7월 하순을 제외하고 주 1회 채취하였다. 채취한 시료의 총질소 (T-N) 분석은 Alkaline persulfate 분해 후에 자외선/가시선 분광법-카드뮴·구리 환원법 (ES 04363.2)을 이용하였다. 총인 (T-P)은 Persulfate 분해 후에 자외선/가시선 분광법 (ES 04362.1)으로 분석하였다 (APHA-AWWA-WEF, 1995; Ministry of Environment, 2012).

논의 물 수지 및 물질수지 논에서 양분물질의 유입과 유출은 강우, 관개수, 배출수 등과 같은 물의 흐름에 크게 영향을 받는데, 벼 재배기간 동안 논 물수지는 다음의 Eq. 1과 같다.

$$\Delta W = R + I - D - P - ET \quad (\text{Eq. 1})$$

여기서, ΔW : 저류량 변화, R: 강수량 (mm), I: 관개수량 (mm), D: 지표배출수량 (mm), P: 침투수량 (mm), ET: 증발산량 (mm)이다.

논의 물수지에서 유입량은 강우와 관개수량이고, 유출량은 지표배출수량, 침투수량 및 증발산량이다. 논 물질수지는 유입 부하량과 유출 부하량으로 구성되는데, 유입 부하량은 강우 부하량, 관개 부하량 그리고 투입된 비료량으로 구성된다. 유출 부하량은 지표배출 부하량, 침투배출 부하량 그리고 작물의 흡수로 나뉜다. 농사로 인한 수질의 효과를 평가하기 위하여 논으로부터의 순유출 부하량 (Kunimatsu and Muraoka, 1989; Yoon et al., 2003)은 다음의 Eq. 2와 같다.

$$NL = SL + PL - (IL + RL) \quad (\text{Eq. 2})$$

여기서, NL: 순유출 부하량 (kg ha⁻¹), SL: 지표배출 부하량 (kg ha⁻¹), PL: 침투배출 부하량 (kg ha⁻¹), IL: 관개 부하량 (kg ha⁻¹), RL: 강우 부하량 (kg ha⁻¹)이다.

Eq. 2에서 순유출 부하량의 값이 양 (+)이면 논은 유출형, 음 (-)이면 정화형을 의미한다.

Results and Discussion

평탄지와 곡간지 논 물수지 벼 재배기간 동안 논 물수지는 기상조건, 입지 및 토양조건, 작물재배조건 및

관개용수원 등 다양한 요인에 의해 차이가 있다고 하였다 (Choi et al., 2012; Kim et al., 2005a; Kim et al., 2005b; Song et al., 2013), 조사지역인 평탄지와 곡간지 논에서 벼 재배기간 동안 물수지는 Table 2와 같다.

평탄지 논 물수지를 분석한 결과, 강우량은 1,098 mm, 관개수량 1,390 mm, 침투수량 227 mm, 지표배출수량 534 mm 그리고 증발산량은 615 mm이었다. 곡간지 논은 경우에는 강우량은 928 mm, 관개수량 1,023 mm, 침투수량 149 mm, 지표배출수량 149 mm 그리고 증발산량은 476 mm이었다. 평탄지 논이 곡간지 논에 비해 농업용수가 풍부하고 관개가 용이한 지역으로 관개에 의한 유입과 침투에 의한 배출이 많았는데, 평탄지 논은 곡간지 논에 비해 논둑의 높이가 높지 않았기 때문에 침투되는 양이 많았고, 곡간지 논은 윗논의 배수가 아랫논으로 유입되었기 때문에 인위적으로 공급하는 관개수량이 적은 것으로 생각된다.

논 물수지는 주로 영농기간 동안 강우에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있으나, 강우는 영농을 위한 필요수량보다 적기 때문에 쌀 생산을 위한 인위적인 관개가 중요하다 (Yoon et al., 2003). 증발산량은 영농기간 초기에는 낮았다가 영농 후기인 8월 초순부터는 높아졌으나 벼 성숙기인 9월 중순 이후에는 다시 감소하였다 (Table 2). 침투수량은 상대적으로 영농 초기에 높고 8월 중순 출수기를 제외하고 감소하여 (Table 2) 다른 연구결과들과 비슷한 결과를 보였다 (Kim et al., 2005b; Song et al., 2013; Yoon et al.,

2003).

우리나라 논 물수지와 관련한 대부분의 선행 연구들은 측정과 접근성이 용이한 평탄지 논에서 조사 및 분석이 이루어졌다. 경기도 이천의 하천수 관개 논에서 2002~2003년 벼 재배기간 동안 물수지를 조사한 결과, 강우량은 1,001 mm, 관개수량은 1,407 mm, 침투수량은 1,088 mm, 지표배출수량은 771 mm 그리고 증발산량은 309 mm이었다 (Kim et al., 2005b). 경기도 용인의 저수지 관개 논은 경우 2011~2012년 벼 재배기간 동안 강우량은 1,373 mm, 관개량은 2,166 mm이었고, 침투수량은 120 mm, 지표배출량은 2,326 mm, 증발산량은 649 mm 이었다 (Song et al., 2013). 또한, 경기도 여주의 곡간지에 위치한 지하수 관개 논은 경우 2001년 영농기간 동안 강우량은 511 mm, 관개수량은 670 mm, 침투수량은 77 mm, 지표배출수량은 593 mm 그리고 증발산량은 489 mm이었다. 이와 같이 지역별 및 시기별 논 물수지 결과가 상이하게 나타났는데, 지역별 침투량 및 물 관리 방식이 다르고 기상조건에 따라 강우량 및 증발산량이 다르기 때문으로 생각된다.

논의 입지조건별 관개수량에 대한 배출수량의 비율은 Table 3과 같다. 관개량이 많은 이양기의 관개비율은 평탄지 논과 곡간지 논은 경우 각각 60.8%와 43.9%로 가장 높았으며, 평탄지에 비해 곡간지 논에서는 여름 호우기인 유수형성과 출수기에 관개비율이 낮았다. 곡간지 논에 비해 관개수량이 많은 평탄지 논에서는 배출수량도 증가하였는

Table 2. Water balance in the studied areas with different topography during the rice cultivation period in 2013.

Properties	Period	Inflow (mm)			Outflow (mm)			
		Irrigation	Precipitation	Subtotal	Surface drainage	Percolation	Evapotranspiration	Subtotal
Alluvial plain	May	259	131	390	106	87	90	282
	Jun.	258	115	373	120	68	154	342
	Jul.	385	528	914	134	46	144	324
	Aug.	318	141	459	105	19	158	283
	Sept.	169	183	352	69	6	68	143
	Total	1,390	1,098	2,488	534	227	615	11,376
Local valley	May	206	98	304	76	61	79	216
	Jun.	201	230	431	99	43	133	274
	Jul.	289	254	542	155	25	113	293
	Aug.	231	184	414	112	14	108	233
	Sept.	97	163	260	90	5	44	139
	Total	1,023	928	1,924	530	149	476	1,155

Table 3. Net irrigation ratio in the studied areas with different topography during the rice paddy cultivation period in 2013.

Properties	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Average
	----- % -----					
Alluvial plain	59.3	53.5	65.2	67.0	59.1	60.8
Local valley	63.2	51.0	46.3	51.6	7.5	43.9

데, 이는 이랑기와 분얼기에는 물꼬를 조절하여 외부로 배출되는 양을 줄여서 관개비율이 높았으나, 호우기에는 영농을 위한 필요수량 이상의 강우가 바로 배출되어서 지표 배출수량이 증가하는 것으로 생각된다. 또한, 곡간지 논에서는 지표 배출이 직접 수계로 유출되지 않고 아래 논으로 배출되어 논이 수계 배출 전 저류지 역할을 하였기 때문에 상대적으로 작은 것으로 생각된다.

질소와 인의 농도 변화 평탄지와 곡간지 논은 관개수와 배출수의 질소와 인 농도 변화는 Table 4와 같다. 평탄지 논은 관개수 중 T-N과 T-P의 평균 농도는 각각 4.11과 0.15 mg L⁻¹이었고, 곡간지 논은 관개수 중 T-N과 T-P의 평균 농도는 각각 3.08과 0.12 mg L⁻¹이었다. T-N의 농도는 두 논 모두 시비 후 용수로 주변 논에서 양분물질의 침투 및 배출량이 증가하는 이랑초기에 높았다. 관개수 중 질소함량은 이랑초기에는 다소 높으나, 강우량이 많은 6월 중순부터 7월 중순 사이에 현저히 감소되었다는 다른 연구결과 (Kim et al., 2005b; Lee et al., 2014)와 비슷하였다. T-P의 농도는 호우기에 높았는데 이는 관개수에 유출수와 함께 토양입자에 흡착된 인이 포함되었기 때문이라는 다른 연구결과 (Feng et al., 2004; Lee et al., 2014)와 비슷하였다.

배출수의 경우 평탄지 논에서 T-N과 T-P의 평균 농도는 각각 4.06과 0.46 mg L⁻¹이었고, 곡간지 논에서는 T-N과 T-P의 평균 농도는 각각 3.81과 0.34 mg L⁻¹이었다. 배출수의 T-N 농도는 평탄지와 곡간지 논 모두 관개용수에 비해 투입되는 비료의 영향을 많이 받는다고 하였는데 (Kim et al., 2005a; Lee et al., 2014; Song et al., 2013), 본 연구결과도 5월 중순에 높게 나타났다가 점차 감소하였고, 추비를 주는 시기인 8월 상순에 다시 높아졌다. 그러나 T-P 농도는 기비의 영향을 받아 5월 중순에 높게 나타났다가 감소하였다.

논의 침투수 중 T-N과 T-P의 평균 농도는 평탄지 논은 경우 각각 2.27과 0.15 mg L⁻¹이었고, 곡간지 논에서는 각각 2.97과 0.18 mg L⁻¹이었다. 두 지역의 평균 농도가 달랐는데, 이는 조사지역의 토양특성, 강우조건, 시비량 및 논물관리 등이 다르기 때문으로 생각된다. 여주와 진천의 강우 중 T-N의 평균 농도는 각각 0.53과 0.51 mg L⁻¹이었고, T-P의 평균 농도는 각각 0.20과 0.17 mg L⁻¹이었다. 강우의 화학적 특성은 조사지역과 조사시기 및 강우조건 등에 따라 다른데 (Kim et al., 2013; Lee et al., 2009) 두 조사지역은 모두 비슷한 경향이였다.

평탄지와 곡간지 논은 질소와 인 수치 재배기간 동안 논은 입지조건별 양분물질 배출특성을 파악하기 위하여 논에서 질소와 인의 유입 및 배출 특성을 분석하였으며, 그 결과는 Table 5와 같다.

관개에 의한 유입 부하량은 평탄지 논과 곡간지 논에서 T-N이 각각 57.2와 34.6 kg ha⁻¹이었고 T-P가 각각 2.23과 1.44 kg ha⁻¹이었다. 평탄지 논이 곡간지 논에 비해 T-N과 T-P의 유입 부하량이 높았는데, 이는 관개량이 증가하였을 뿐만 아니라 농도가 증가하였기 때문이다. 배수에 의한 배출 부하량은 평탄지 논과 곡간지 논에서 T-N이 각각 22.7과 21.1 kg ha⁻¹이었고 T-P는 각각 2.54와 1.82 kg ha⁻¹이었다. 평탄지 논이 곡간지 논에 비해 T-N과 T-P의 배출 부하량이 높았는데, 이는 관개수의 공급이 평상시에 이루어지나 강우시에는 중단되어 평상시 유출량이 많았기 때문이다. 또한, 강우시 T-N 농도는 감소하고 T-P 농도는 담수로 인하여 크게 증가하지 않기 때문으로 생각된다. Han (2011)은 곡간지 유역의 단일 필지 논에서 유출량 883.5 mm인 경우, T-N 34.4 kg ha⁻¹, T-P 1.0 kg ha⁻¹이 발생한다고 하였는데, 본 연구에서는 곡간지 논 뿐만 아니라 평탄지 논에서도 이보다 낮았다.

Table 4. Nitrogen and phosphorus concentrations in the studied areas with different topography during the rice cultivation period in 2013.

Properties	Sample	No. of samples	T-N		T-P		
			Range	Mean	Range	Mean	
			----- mg L ⁻¹ -----		----- mg L ⁻¹ -----		
Alluvial plain	Irrigation	20	2.61~5.66	4.11±1.10	20	0.07~0.25	0.15±0.05
	Precipitation	13	0.27~0.79	0.53±0.08	13	0.07~0.59	0.20±0.02
	Drainage	35	2.21~5.14	4.06±1.25	35	0.38~0.58	0.46±0.11
	Percolation	15	0.21~4.01	2.27±1.30	15	0.07~0.25	0.15±0.03
Local valley	Irrigation	16	1.21~4.41	3.08±1.22	16	0.05~0.21	0.12±0.04
	Precipitation	10	0.25~0.80	0.51±0.10	10	0.08~0.45	0.17±0.02
	Drainage	32	1.70~5.44	3.81±1.33	32	0.17~0.45	0.34±0.08
	Percolation	15	1.54~3.41	2.97±1.41	15	0.08~0.28	0.18±0.03

Table 5. Nitrogen and phosphorus balance in the studied areas with different topography during the rice cultivation period in 2013.

Properties	Sample	Alluvial plain		Local valley	
		T-N	T-P	T-N	T-P
kg ha ⁻¹					
Input	Irrigation	57.2±1.85	2.23±0.51	34.6±1.25	1.44±0.33
	Precipitation	5.84±0.32	2.22±0.12	4.73±0.30	1.57±0.11
	Fertilization	130.0±5.2	43.0±2.3	122.0±3.3	40.0±2.1
	Subtotal	193.0±5.9	47.5±3.2	161.3±6.1	43.0±3.5
Output	Drainage	22.7±1.23	2.54±0.45	21.1±1.58	1.82±0.54
	Percolation	5.20±0.22	0.41±0.08	4.15±0.30	0.34±0.05
	Plant uptake	111.2±6.5	38.6±2.5	83.8±7.0	39.9±2.8
	Subtotal	139.1±4.5	41.6±2.2	109.1±3.8	42.1±2.8

양분물질의 배출 부하량은 영농초기에 집중되어 배출되는 특징이 있는데 (Song et al., 2013), 이는 경운과 씨레질에 의해 토양의 교란 (Somura et al., 2009), 시비 활동 등에 의해 많은 양의 양분물질이 배출 (Kim et al., 2005a; Kang et al., 2010; Song et al., 2013; Yoon et al., 2003) 되는 것으로 보고되었다. 따라서 배출 부하량을 줄이는 방안으로 물꼬높이 상승, 적절한 담수심 관리 등과 같은 물관리와 비료사용처방서에 따른 시비관리 방안이 적용되어야 한다고 생각된다.

강우량 및 관개수량과 배출 부하량의 관계 양분물질의 배출은 강우량이나 담수심과 같은 수문조건과 시비 등과 같은 논영농관리 등에서도 영향을 받는다 (Choi et al., 2012; Hwang et al., 2004; Kim et al., 2005b; Lee et al., 2014; Song et al., 2013). 본 연구에서 강우량과 배출 부하량, 관개량과 배출 부하량 사이의 관계를 분석한 결과는 Table 6과 같다.

평탄지 논과 곡간지 논에서 강우량과 T-N과 T-P 배출 부하량은 7월과 8월에 유의한 상관성이 있었는데, 곡간지

논은 평탄지 논에 비해 더 유의한 상관성이 있었고 ($p < 0.05$) 9월에도 상관성이 있었다 ($p < 0.05$). 곡간지 논은 윗논의 배수가 아랫논의 관개수로 유입되기 때문에 평탄지 논에 비해 담수심 관리나 배수에 대한 관리가 이루어지지 않기 때문으로 생각된다. 관개량과 T-N과 T-P 배출 부하량은 평탄지 논인 경우 7월과 8월에 그리고 곡간지 논은 7월에 유의한 상관성이 있었다 ($p < 0.05$). 이는 영농초기인 5월과 6월에는 관개량이 이양 및 담수심 유지 등의 영농활동에 소모되기 때문에 상관관계가 없는 것으로 나타났으며, 7월과 8월에는 중간낙수가 실시되어 관개량이 공급되지 않지만 낙수에 의한 배출 부하량과 강우에 의한 배출 부하량이 발생하기 때문이라는 Song et al. (2013)의 연구결과와 비슷하였다. 또한, Song et al. (2013)은 물이 풍부한 저수지 관개 광역 논에서는 강우가 많은 7~9월에는 강우에 의한 관개를 하고 추가적인 관개용수의 공급은 일정 담수심 이하로 내려간 경우에 이루어진다면 배출 부하량을 줄일 수 있을 것이라고 보고하였다.

일반적으로 벼 재배기간 동안 논에서 양분물질의 배출 부하량은 강우량이 증가할수록 증가하는 것으로 알려져 있

Table 6. Pearson correlation between rainfall and pollutant loads or irrigation and pollutant loads in the studied areas with different topography during the rice cultivation stages in 2013.

Properties	Period	Rainfall × T-N	Rainfall × T-P	Irrigation × T-N	Irrigation × T-P
Alluvial plain	May	-0.046	0.606	-0.071	0.102
	Jun.	0.359	0.319	-0.017	-0.142
	Jul.	0.455*	0.726**	0.549**	0.430*
	Aug.	0.524*	0.506*	0.172	0.150
	Sept.	0.185	0.187	0.299	0.161
Local valley	May	0.116	0.022	0.097	0.217
	Jun.	0.229	0.215	0.575**	0.298
	Jul.	0.785**	0.935**	0.707**	0.387*
	Aug.	0.681**	0.688**	0.388*	0.123
	Sept.	0.549*	0.598*	0.289	0.129

*0.001 < p < 0.05, **p < 0.001

는데 (Hwang et al., 2004; Kim et al., 2005; Song et al., 2013), 이는 어느 특정 요인에 의존하는 것이 아니라 여러 요인에 의한 복합적인 현상으로 발생한다고 생각된다. 따라서 입지조건, 영농조건 등에 따른 논에서의 양분유출 특성이 다양하므로 이를 관리하기 위해서는 선행적으로 다양한 모니터링 자료가 지속적으로 축적되어야 한다고 생각된다.

Conclusions

벼 재배기간 동안 일부 양분물질들이 벼의 생장에 이용되지 않고 물꼬를 통해 지표 배출되어 수계의 부영양화 문제를 초래한다. 따라서 본 연구는 입지조건이 다른 평탄지 논과 곡간지 논에서 벼 재배기간 동안 벼농사가 주변 수계에 미치는 영향을 평가하고자 평탄지 논과 곡간지 논에서 양분물질인 질소와 인의 유입 및 유출 부하량을 조사하였다.

벼 재배기간 동안 논에 물수지는 기상조건, 입지 및 토양 조건, 작물재배조건 및 관개용수원 등 다양한 요인에 의해 차이가 있는데, 평탄지 논에 물수지는 강우량 1,098 mm, 관개수량 1,390 mm, 침투수량 227 mm, 지표배출수량 534 mm, 증발산량 615 mm이었다. 곡간지 논은 강우량 928 mm, 관개수량 1,023 mm, 침투수량 149 mm, 지표배출수량 149 mm, 증발산량 476 mm이었다. 재배기간 동안 논에 입지조건별 질소와 인의 유입 및 배출 특성을 분석한 결과, 관개에 의한 유입 부하량은 평탄지 논과 곡간지 논에서 T-N이 각각 57.2와 34.6 kg ha⁻¹이었고 T-P가 각각 2.23과 1.44 kg ha⁻¹이었으며, 배수에 의한 배출 부하량은 평탄지 논과 곡간지 논에서 T-N이 각각 22.7과 21.1 kg ha⁻¹이었고 T-P는 각각 2.54와 1.82 kg ha⁻¹이었다. 양분물질의 배출은 강우량이나 담수심과 같은 수문조건과 시비 등과 같은 논에 영농관리 등에서도 영향을 받는데, 평탄지 논과 곡간지 논에서 강우량과 T-N과 T-P 배출 부하량은 7월과 8월에 유의한 상관성이 있었다. 관개량과 T-N과 T-P 배출 부하량은 평탄지 논에 경우 7월과 8월에 그리고 곡간지 논은 7월에 유의한 상관성이 있었다 (p<0.05).

벼 재배기간 동안 곡간지 논에 비해 평탄지 논에서 양분물질의 배출 부하량이 많았는데, 이는 지형적인 요인에 의존하는 것이 아니라 여러 요인에 의한 복합적인 현상으로 발생한다고 생각된다. 따라서 입지조건, 영농조건 등에 따른 논에서의 양분유출 특성이 다양하므로 이를 관리하기 위해서는 선행적으로 다양한 모니터링 자료가 지속적으로 축적되어야 한다고 생각된다.

References

American Public Health Association, American Water Works Association & Water Environment Federation (APAH-AWWA-

- WEF). 1995. Standard methods for the examination of water and waste water. 19th ed. American Public Health Association, Washington, DC, pp. 4-112.
- Choi, J.K., J.G. Son, K.S. Yoon, H.J. Lee, and Y.J. Kim. 2012. Runoff characteristics in paddy field using cow manure compost fertilizer. *J. Korean Soc. Agric. Eng.* 54:29-36.
- Feng, Y.W., I. Yoshinaga, E. Shiratani, T. Hitomi, and H. Hasebe. 2004. Characteristics and behavior of nutrients in a paddy field area equipped with a recycling irrigation system. *Agric. Water Manage.* 68:47-60.
- Han, K.H. 2011. Characteristics of non-point sources pollutant loads at paddy plot located at the valley watershed during irrigation periods. *Korean National Commi. Irri. And Drain.* 18:94-102.
- Hwang, H.S., D.S. Kong, D.S. Shin, and J.H. Jeon. 2004. Characteristics of nutrient export from paddy rice fields with irrigation practices. *J. Korean Soc. Water Qual.* 20:597-602.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Fourth Assessment Report.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2008. Technical Paper on Climate Change and Water.
- Kang, M.S. 2010. Development of improved farming methods to reduce agricultural non-point source pollution. *J. Korean Soc. Agric. Eng.* 52:40-50.
- Kim, J.S., S.Y. Oh, K.Y. Oh, and J.W. Cho. 2005a. Delivery management water requirement for irrigation ditches associated with large-sized paddy plots in Korea. *Paddy Water Environ.* 3:57-62.
- Kim, J.S., S.Y. Oh, and K.Y. Oh. 2006. Nutrient runoff from a Korean rice paddy watershed during multiple storm events in the growing season. *J. Hydrol.* 327:128-139.
- Kim, M.K., K.A. Roh, N.J. Lee, and M.C. Seo. 2005b. Nutrient load balance in large-scale paddy fields during rice cultivation. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 38:164-171.
- Kim, M.K., S.J. Lee, G.B. Jung, B.G. Ko, S.I. Kwon, M.Y. Kim, K.H. So, and S.G. Yun. 2013. Chemical characterization of rainwater over Suwon region during farming and non-farming periods. *J. Agric. Chem. Environ.* 2:1-7.
- Kunimatsu, T. and M.K. Muraoka. 1989. Analysis of river pollutant model. Kibodo Press. pp.50-60 (in Japanese).
- Lee, J.B., J.Y. Lee, S.H. Lee, J.R. Jang, I.G. Jang, and J.S. Kim. 2014. Nutrient balance in the paddy fields watershed with a source of river water. *J. Korean Soc. Agric. Eng.* 56:11-19.
- Lee, J.S., M.K. Kim, S.J. Park, C.M. Choi, and T.W. Jung. 2009. Neutralization of acidity and ionic composition of rainwater in Taean. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 42:336-340.
- Ministry of Environment. 2012. Standard methods of water sampling and analysis, Ministry of Environment, Incheon, Korea.
- Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (MIFAFF). 2012. Food, agriculture, forestry and fisheries statistical yearbook, Gwacheon, Korea.

- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MOLTM). 2011. Long-term Korea National Water Resources Plan, Gwacheon, Korea.
- Somura, H., I. Takeda, and Y. Mori. 2009. Influence of puddling procedures on the quality of rice paddy drainage water. *Agri. water manage.* 96:1052-1058.
- Song J.H., M.S. Kang, I.H. Song, and J.R. Jang. 2012. Comparing farming methods in pollutant runoff loads from paddy fields using the CREAMS-PADDY model. *Korean J. Environ. Agric.* 31:318-327.
- Song, J.H., M.S. Kang, I.H. Hong, S.H. Hwang, J.H. Park, S.M. Jeon, K.U. Kim, and J.R. Jang. 2013. Analysis of nutrient load balance in the reservoir irrigated paddy block. *J. Korean Soc. Agric. Eng.* 55:167-175.
- Yoo, S.H., J.Y. Choi, and M.W. Jang. 2006. Estimation of paddy rice crop coefficients for FAO Penman-Monteith and Modified Penman Method. *J. Korean Soc. Agric. Eng.* 48:13-23.
- Yoon, C.J., H.S. Hwang, H.S., J.H. Jeon, and J.H. Ham. 2003. Analysis of nutrients balance during paddy cultivation. *Korean J. Limnol.* 36:66-73.