

비모수검정을 이용한 논침투수 수질의 평가

Evaluation of Percolated Water Quality of Paddy Fields Using Nonparametric Test

오 승 영* · 김 진 수** · 오 광 영***

Oh, Seung Young · Kim, Jin Soo · Oh, Kwang Young

Abstract

Characteristics of concentrations of total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), and chemical oxygen demand (COD) pollutant in percolated water at four paddy field sites (Soro, Odong, Munui, and Boeun) were investigated by a nonparametric test. Percolation rate measurement and percolated water sampling were taken during irrigation periods at 5~10 day intervals. The normality of percolation rate and pollutant concentrations were examined using histogram, boxplot, and the Kolmogorov-Smirnov (K-S) test. Pollutant concentrations in percolated water showed positively skewed distribution. The median concentrations of pollutant were 1.91 mg/L for TN, 0.021 mg/L for TP, and 6.6 mg/L for COD, which were lower than its arithmetic mean concentrations by 35% for TN, 36% for TP, and 13% for COD. The median concentrations of TN and TP differed significantly among sample sites according to the Kruskal-Wallis test. However, median concentrations were not significantly different among month except for TN and TP of Soro and COD of Odong. The percolation load of pollutants during irrigation periods in the study area were estimated at 3.12~7.75 kg/ha for TN, 0.033~0.155 kg/ha for TP, and 10.7 kg/ha for COD, which were much lower than respective values reported in Japan.

Keywords : Percolation, Nonnormal distribution, Kruskal-Wallis test, Mann-Whitney U test, Median concentration

I. 서 론

우리나라의 농지 면적은 2003년 현재 국토 면적의 약 19%인 184만 6천 ha이며 이 중 논(畓)이 61%인 112만 7천 ha를 차지하고 있어(Ministry of Agriculture and Forestry, 2004), 논에서의 오염부하량은 하류 수계에 미치는 영향이 클 것으로 예상된다. 논으로부터의 유출은 지표 및 침투유

* 국립환경연구원 수질총량관리센터
** 충북대학교 농업생명환경대학
*** 충북대학교 대학원
** Corresponding author. Tel.: +82-43-261-2573
Fax: +82-43-271-5922
E-mail address: jskim@cbnu.ac.kr

출로 구성되어 있어 논으로부터의 오염물질을 저감시키기 위해서는 이들 흐름에 동반하는 지표유출부와 침투유출부하를 제어하는 것이 필수적이다. 지표유출부하는 유역 수질에 신속히 영향을 미치나 침투유출부하는 지하로 침투하여 서서히 영향을 미친다. 논으로부터의 오염물질의 유출부하에 관한 연구는 국내(Yoon et al., 2002a, b, c)나 국외(Takeda et al., 1997; Feng et al., 2004)에서 수행되었으나, 담수된 논에서의 침투수에 관한 연구는 아직 미흡한 실정에 있다.

침투수 수질의 특성을 파악하기 위해서는 우선 자료의 통계적 특성을 검토하여 이에 적합한 방법을 선정하는 것이 중요하다. 일반적으로 자연에서 관측되는 수질자료는 대칭적이며 종모양(bell-shaped)의 정규분포에서 벗어나는 경우가 많기 때문에(Bedient and Huber, 1988), 수질 자료에 정규분포에 의거한 모수검정(parametric test)을 적용하는 데에는 많은 문제점이 제기되고 있다(Helsel, 1987). 관측치의 크기보다 순위에 기초하고 있는 비모수검정(nonparametric test)은 자연 현상에서 표본이 정규분포를 만족하지 않을 때에 모수검정에 비해 타당한 결과를 도출하는 것으로 알려져 있다(Lettenmaier, 1988; Helsel and Hirsch, 1992; Park et al., 1995; Hong and Kwun, 2001).

본 연구에서는 충청북도 4개 지역의 논을 대상으로 관개기 동안에 측정된 침투수 중의 오염물질(TN, TP 및 COD)의 농도 특성에 대하여 비모수검정을 이용하여 검토하고 침투유출부하량을 산정하여 논으로부터의 비점원오염의 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 연구방법

1. 조사지구 및 측정방법

본 연구는 충청북도에 위치한 4개의 논 ① 청원군 옥산면 소로리의 논(이하 '소로지구'라고 함),

② 청주시 오동동의 논(이하 '오동지구'라고 함), ③ 청원군 문의면 노현리의 논(이하 '문의지구'라고 함), ④ 보은군 보은읍 학림리의 논(이하 '보은지구'라고 함)를 대상으로 하였다(Fig. 1). 보은지구가 표고 180 m로 가장 높은 지대에 위치하고 있으며, 소로와 오동지구가 약 32~37 m로 저평지에 위치하고 있다(Table 1). 토성은 소로, 오동 및 문의 지구에서만 조사되었는데, 미국 농무성(USDA)의 삼각좌표법에 의해 분류한 결과, 소로지구는 양토(loam), 오동지구는 사질양토(sandy loam), 문의지구는 미사질양토(silt loam)로 나타났다. 각 지구에 시용(施用)된 시비량은 질소가 약 153~171 kg N/ha, 인이 약 18~23 kg P/ha의 범위로 나타났다. 또한, 토양의 이화학적 성분은 소로와 문의 지구에서만 조사되었는데, 이는 Table 2와 같다.

침투량 및 수질 측정은 소로지구에서는 6년(1998~2003년), 오동 및 문의지구에서는 2년(각각 1998~1999년, 2002~2003년), 보은지구에서는 1년(2000년)의 관개기 동안 평균 5~10일 간격으로 실시되었다. 침투량은 뚜껑이 있는 지름 20 cm의 원통형 침투량계를 깊이 20 cm로 압입(壓入)하여 측정하였고, 침투수는 직경 7 mm인 PVC 관을 통하여 침투수가 형성한 지하수면이 존재하는 지하 0.5~1.5 m 되는 지점에서 채수하였다(Fig. 2).

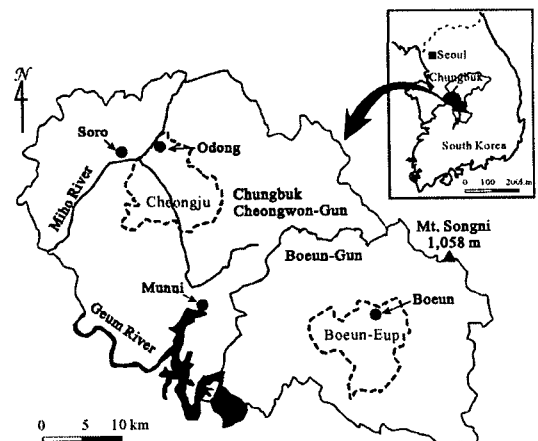


Fig. 1 Locations of the sites

Table 1 Outline of study areas

Study site	Location	Altitude	Study periods	Soil texture	Fertilizer application rate
Soro	127.42° E, 36.68° N	32 m	1998~2003 Apr.~Sep.	Loam (44:34:22a)	153.1 kgN/ha/yr, 18.0 kgP/ha/yr
Odong	127.47° E, 36.69° N	37 m	1998~1999 May~Sep.	Sandy loam (54:28:19)	163.6 kgN/ha/yr, 23.0 kgP/ha/yr
Munui	127.53° E, 36.51° N	80 m	2002~2003 June~Sep.	Silt loam (12:62:26)	169.4 kgN/ha/yr, 19.0 kgP/ha/yr
Boeun	127.73° E, 36.53° N	180 m	2000 May~Sep.	N/A	170.9 kgN/ha/yr, 22.4 kgN/ha/yr

^aValues in parentheses represent the composition of sand, silt and clay
N/A: Not available

Table 2 Chemical characteristics of the experimental paddy soil

Study site	pH (1:5)	EC dS/m	OM (%)	TN (mg/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	TP (mg/kg)	Exch. Cations		
							K	Ca	Mg
Soro	6.2	0.29	1.48	786.8	94.8	585.2	0.25	3.67	2.16
Munui	7.6	0.32	2.60	1,345.9	133.8	606.5	0.23	9.56	0.91

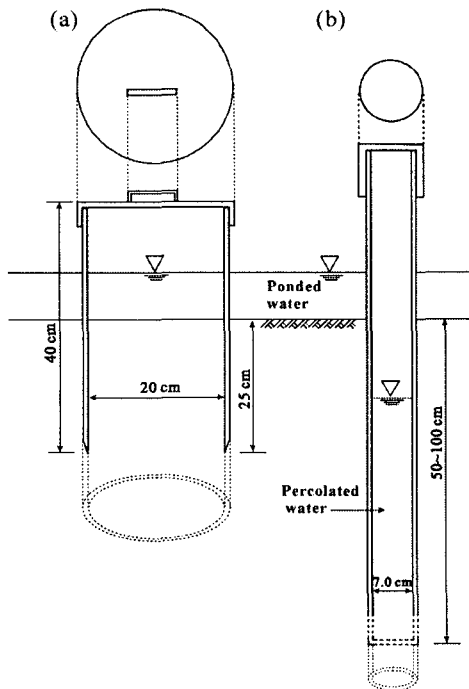


Fig. 2 (a) Percolation rate device and (b) PVC pipe collecting percolated water

침투수의 수질분석은 TN, TP 및 COD의 3항목에 대하여 수행하였다. TN과 TP는 환경오염공정시험법(Ministry of Environment, 1997)에 의한 흡광광도법으로 분석하였고, COD_{cr}은 Standard Methods (American Public Health Association, 1995)에 의한 중크롬산칼륨(K₂Cr₂O₇)을 이용하여 분석하였다.

2. 통계분석

본 연구에서는 침투수 농도 분포의 정규성(normality)을 히스토그램, 박스플롯(boxplot) 및 Kolmogorov-Smirnov(K-S) 검정을 통해 검토하였다. K-S 검정은 모집단과 표본의 분포함수의 적합도를 비교하여 분포의 정규성을 검토하는 것이다.

조사지구의 토양별 및 월별 침투수 농도의 차를 비교하기 위하여 Kruskal-Wallis 검정(Kruskal and Wallis, 1952)을 실시하였다. Kruskal-Wallis 검정은 비정규분포에서 둘 이상의 독립적인 표본의

차이를 검정하는 방법으로서 정규분포의 분산분석(ANOVA)에 해당되는 것이다. 이 검정에서는 수계 군 모집단의 중앙값(median) 또는 평균값(mean)이 동일하다는 귀무가설(H_0)과 모두가 동일하지는 않다는 대립가설(H_1)을 설정한다. 검정절차는 각 표본군의 관측치를 섞어 하나로 만든 다음, 크기 순으로 배열하여 가장 작은 값부터 순위를 매겨 각 군별로 순위합(rank total)을 구한다. 이러한 순위합을 기초로 특정 통계량을 구하고, 이것과 기각 경계값을 비교하여 귀무가설을 검정한다.

Kruskal-Wallis 검정 결과 귀무가설이 기각되었을 경우에는 Mann-Whitney U검정을 실시하였는데, 이 방법은 관측치의 크기 순서만을 기준으로 두 모집단의 차이를 검정한다. K-S, Kruskal-Wallis 및 Mann-Whitney U검정의 통계분석에는 SPSS 10.0.7(SPSS, 1999) 통계 패키지를 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 침투량과 침투수 농도에 대한 정규성 검토

조사지구에서 측정된 침투량과 침투수의 TN, TP 및 COD의 농도는 오른쪽으로 왜곡(양의 왜곡)된 분포를 나타냈다(Fig. 3). TN의 경우 약 4 mg/L 이하, TP의 경우 약 0.04 mg/L 이하, COD의 경우 10 mg/L 이하에 농도의 80%가 집중되어 있는 것으로 나타났다. 또한 침투량과 침투수 농도의 분포를 박스플롯을 이용하여 나타냈는데, 박스플롯에서는 상자 안에 중앙값을 표시하고, 상자 끝단에 일사분위(25% percentile)와 삼사분위(75% percentile)를 표시한 후 선(whisker)의 끝에 최대값과 최소값을 표시한다(Fig. 4(a)). 박스플롯의 결과 네 지구 모두 중앙값이 하위한계 쪽으로 치우쳐 있는 것으로 나타났다. 또한, 침투량과 침투수 농도에 대한 K-S 검정 결과도 조사된 모든 지점

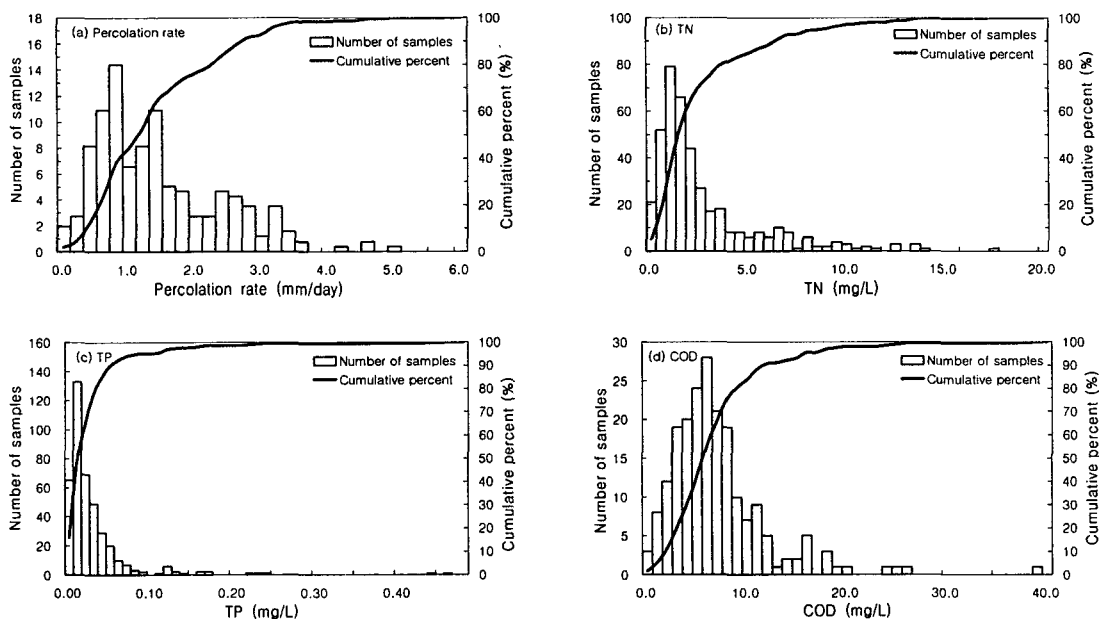


Fig. 3 Histograms of percolation rate and concentrations of TN, TP and COD

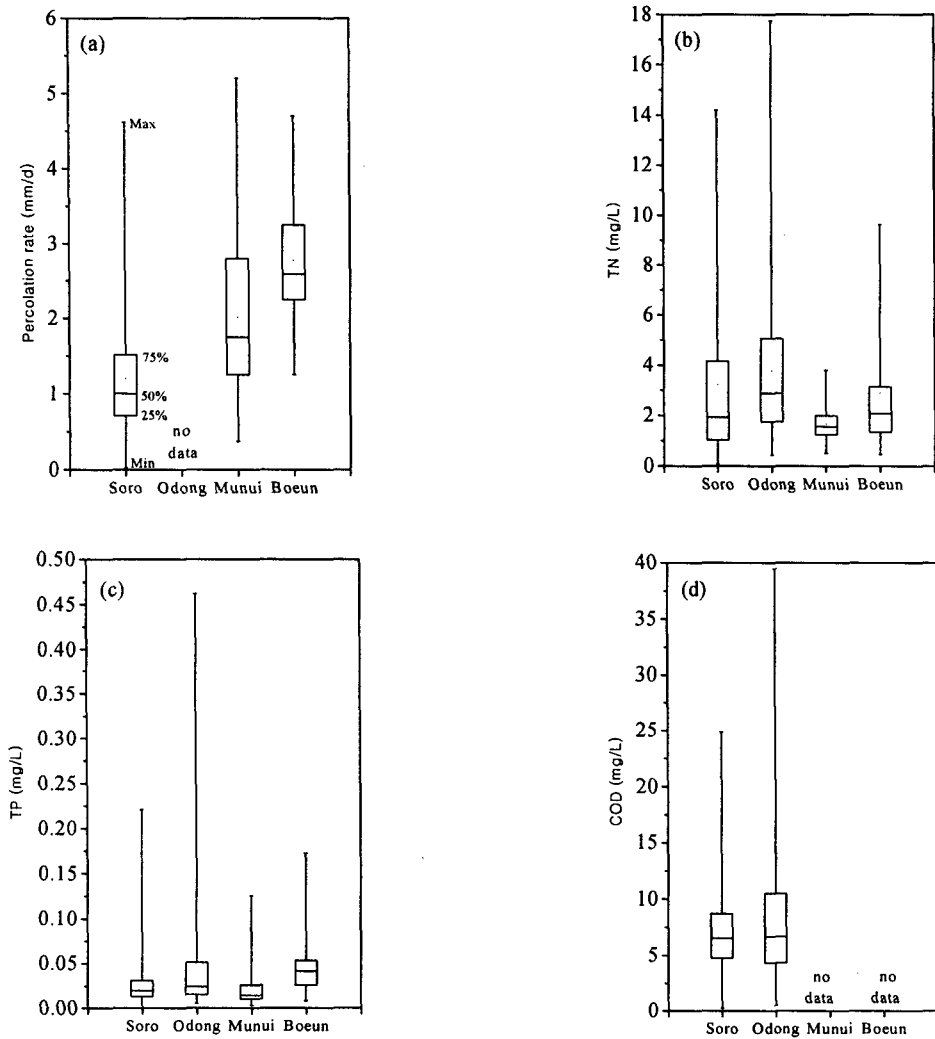


Fig. 4 Boxplots for percolation rate and concentrations of TN, TP and COD

에서 정규성을 기각($p < 0.05$)하는 것으로 나타났다 (Table 3). 따라서 침투량, TN, TP 및 COD 농도 분포는 정규분포를 벗어난다고 판단할 수 있다.

2. 침투량과 침투수 농도의 평균값 및 중앙값

침투량과 침투수 농도의 기본통계치는 Table 4와 같다. 조사지구의 침투량의 중앙값은 1.32 mm/d로 평균값(1.55 mm/d)의 약 85%로 나타났

다. 침투수의 TN, TP 및 COD 농도의 평균값은 각각 2.92, 0.033, 7.5 mg/L이었으며, 중앙값은 각각 1.91, 0.021, 6.6 mg/L로 나타나, 중앙값은 평균값의 65, 64, 87%를 보였다. 일반적으로 양의 왜곡도를 보이는 분포에 있어서는 Fig. 5와 같이 중앙값은 평균값보다 작게 나타나는데, 왜곡도가 가장 심한 TP에서 평균값에 대한 중앙값의 비는 가장 작게 나타났다.

본 조사지역에서의 침투량 및 침투수 농도의 중

Table 3 K-S normality test for percolation rate and pollutant concentration

Study site	Parameter	Sample size	p value	Study site	Parameter	Sample size	p value
Soro	Percolation rate	169	<0.0001	Munui	Percolation rate	81	0.0123
	TN	207	<0.0001		TN	90	0.0065
	TP	207	<0.0001		TP	90	<0.0001
	COD	149	<0.0001		Percolation rate	15	0.0023
Odong	TN	61	0.0022	Boeun	TN	50	<0.0001
	TP	59	<0.0001		TP	50	<0.0001
	COD	55	0.0004				

Table 4 Summary of data used

	Percolation rate	Concentration		
		TN	TP	COD
Sample size	257	408	406	204
Mean(Range)	1.55(0.02-5.20) mm/d	2.92(0.06-17.74) mg/L	0.033(0.000-0.462) mg/L	7.5(0.2-39.5) mg/L
Median	1.32 mm/d	1.91 mg/L	0.021 mg/L	6.6 mg/L
Skewness±SE	0.97±0.15	2.08±0.12	5.577±0.121	2.3±0.2

양값을 우리나라 및 일본 논 지역에서 결과와 비교하였다(Table 5). 조사 지역의 침투량은 1.0~2.6 mm/d로 우리나라의 경기도(Hwang et al. 2002), 전라북도(Yoon et al, 2002b, c) 및 일본의 Niigata지역(Kondoh et al., 1992)의 논 침투량은 비슷하게 나타났으나 사질토양인 일본의 Shiga지역(Takeda et al. 1991)이나 Chiba지역(Ishikawa et al, 1992)의 논보다는 한 자릿수(order) 작게 나타났다.

본 조사지역에서 측정된 침투수의 TN 농도는 1.55~2.87 mg/L로 우리나라의 다른 곳이나 일본의 Shiga 지역(Takeda et al, 1991)의 논을 제외한

다른 곳에서 측정된 값과 비슷했으나(Table 5), 미국 캘리포니아주의 관개 발지대 지하수의 질산성 질소(NO₃⁻) 농도(25~30 mg/L)(Keeney, 1982) 보다는 훨씬 낮았은 데, 이는 경반과 같은 난투수층의 존재, 혐기성토층에서의 탈질 등의 영향 때문으로 생각된다. TP 농도는 0.015~0.042 mg/L로 우리나라의 전라북도에서 측정된 농도(0.020~0.034 mg/L)(Yoon et al, 2002b, c)와 비슷한 값을 나타냈으나 일본 논에서 측정된 값의 1/8~1/60로 낮게 나타났다. 일본 Niigata지역(Kondoh et al, 1992)에서 논 침투량은 조사지역과 비슷하였으나, TP 농도는 조사지역보다도 매우 높게 나타났다. 한편, COD 농도는 6.5~6.7 mg/L로 크롬법으로 환산(1.5 배)한 일본 Shiga지역 논과에서의 값과는 비슷하였지만 Chiba지역(Ishikawa et al, 1992) 논에서의 값보다는 낮게 나타났다.

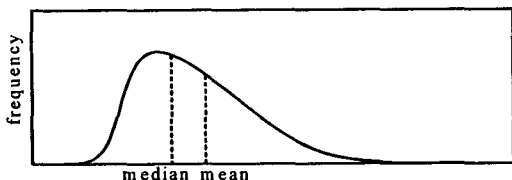


Fig. 5 Locations of mean and median in positively skewed distributions

Table 5 Comparison of this study with previous studies for pollutant concentrations in percolated water

Region, Nation	Study period	Soil texture	Fertilizer application rate (kg/ha)	Perco. rate (mm/d)	Median concentration (mg/L)			Reference
					TN	TP	COD	
Soro, Korea	1998-2003	Loam	N: 153.1 P: 18.0	1.00	1.92	0.020	6.5	This study
Odong, Korea	1998-1999	Sandy loam	N: 163.6 P: 23.0	N/A	2.87	0.024	6.7	
Munui, Korea	2002-2003	Silt loam	N: 169.4 P: 19.0	1.75	1.55	0.015	N/A	
Boeun, Korea	2000	N/A	N: 170.9 P: 22.4	2.59	2.10	0.042	N/A	
Gyeonggi, Korea	2001	Clay loam	N: 110.0 P: 19.64	0.73 ^a	2.22 ^a	N/A	N/A	Hwang et al. (2002)
Jeonbuk, Korea	1999-2000	Silt loam	N: 137.0 P: 13.1	2.90-2.92 ^a	3.84-3.87 ^a	0.020 ^a	N/A	Yoon et al. (2002b)
Jeonbuk, Korea	1999-2000	Silt loam	N: 131.0 P: 30.0	1.76-2.02 ^a	4.87-4.92 ^a	0.034 ^a	N/A	Yoon et al. (2002c)
Shiga, Japan	1987-1988	Sand	N: 106.4 P: 51.4	13.75-15.31 ^a	2.77-4.01 ^a	0.359-0.465 ^a	4.2 ^a (6.3 ^b)	Takeda et al. (1991)
Niigata, Japan	1985-1988	Silty clay	N/A	1.30-2.82 ^a	1.36-3.62 ^a	0.39-0.91 ^a	N/A	Kondoh et al. ^c (1992)
Chiba, Japan	1991	Sandy loam ~Sand	N: 51 P: N/A	18.2 ^a	1.07 ^a	0.110 ^a	16 ^a (24 ^b)	Ishikawa et al. ^c (1992)

^aMean concentration

^bValues in parentheses represent values converted to COD_{cr}

^cSubsurface drainage water

N/A: Not available

Table 6 Effect of study sites on median pollutant concentrations by the Kruskal-Wallis test

Parameter		Study site				p-value
		Soro	Odong	Munui	Boeun	
TN	Median (mg/L)	1.92	2.87	1.55	2.10	<0.0001
	Average rank	207.1	250.0	161.9	214.9	
TP	Median (mg/L)	0.020	0.024	0.015	0.042	<0.0001
	Average rank	194.75	240.93	154.21	284.29	
COD	Median (mg/L)	6.5	6.7	N/A	N/A	0.7841
	Average rank	101.8	104.4			

N/A: Not available

Table 7 Mann-Whitney U test for median concentrations of (a)TN and (b)TP at study sites

(a) TN					(b) TP				
	Soro	Odong	Munui	Boeun		Soro	Odong	Munui	Boeun
Soro		*	**		Soro		**	**	***
Odong			***		Odong			***	
Munui				**	Munui				***
Boeun					Boeun				

*: Significant at the 0.05 probability level,

**: Significant at the 0.01 probability level

***: Significant at the 0.001 probability level

3. 지구별 침투수 농도의 변화

각 지구별 침투수 농도의 중앙값의 차이는 Kruskal-Wallis 검정을 이용하여 검토하였다(Table 6). 침투량과 TN과 TP 농도의 중앙값은 지역에 따라 유의적인 차이($p < 0.0001$)를 보이는 것으로 나타났다. 한편 COD 농도는 소로와 오동지구에서만 측정하였는데, 두 지구간에는 유의적인 농도차이를 보이지 않았다.

각 지구별 Mann-Whitney U검정 결과는 Table 7과 같다. 문의지구에서의 TN과 TP 농도는 각각, 1.55, 0.015 mg/L(Table 6)로 다른 세 지구에서

의 값과 유의적인 차이를 보이며 가장 낮게 나타났는데, 이는 문의지구의 논이 미사질양토(silt loam)로 다른 지구에 비하여 미사와 점토의 함량이 많기(88%) 때문으로 생각된다. 미사나 점토의 함량이 많은 논은 모래함량이 많은 논에 비하여 TN 농도는 혐기성 영역의 확대에 의한 탈질의 증가에 의하여 낮아지고 TP 농도는 토양에 의한 인의 흡착으로 낮아진다.

4. 월별 침투수 농도의 변화

조사기간 동안 4지구에서의 월별 중앙값 농도에

Table 8 Effect of month on median pollutant concentrations by the Kruskal-Wallis test

Study site	Parameter	Month						p-value
		Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	
Soro	TN (mg/L)	3.405(7 ^a)	2.358(36)	3.870(43)	1.865(40)	1.385(42)	1.085(39)	<0.0001
	TP (mg/L)	0.022(7)	0.025(36)	0.026(43)	0.020(40)	0.013(42)	0.018(39)	<0.0001
	COD (mg/L)	8.048(5)	5.539(28)	6.660(29)	6.847(30)	5.403(30)	6.140(27)	0.5067
Odong	TN (mg/L)	N/A	2.510(5)	3.160(13)	2.070(14)	3.830(15)	2.980(14)	0.8755
	TP (mg/L)		0.049(4)	0.029(13)	0.021(13)	0.021(15)	0.027(14)	0.3902
	COD (mg/L)		6.120(4)	8.420(11)	6.070(13)	3.200(15)	8.605(12)	0.0369
Munui	TN (mg/L)	N/A	N/A	1.623(26)	1.399(22)	1.416(24)	1.778(18)	0.3680
	TP (mg/L)			0.018(26)	0.012(22)	0.013(24)	0.013(18)	0.4200
Boeun	TN (mg/L)	N/A	0.980(6)	2.095(10)	2.685(12)	2.205(12)	2.050(10)	0.1450
	TP (mg/L)		0.031(6)	0.043(10)	0.046(12)	0.042(12)	0.043(10)	0.4889

^aValues in parentheses represent sample size.

N/A: Not available

Table 9 Mann-Whitney U test for monthly concentrations of (a)TN and (b)TP at Soro

(a) TN							(b) TP						
	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.		Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.
Apr.					*	*	Apr.					*	
May			**		*	**	May					**	
June				**	***	***	June					***	*
July					*	**	July					**	
Aug.							Aug.						*
Sep.							Sep.						

*: Significant at the 0.05 probability level, **: Significant at the 0.01 probability level
 ***: Significant at the 0.001 probability level

대한 Kruskal-Wallis 검정 결과, 소로지구의 TN과 TP 농도, 오동지구의 COD 농도 이 외에는 다른 지구 및 항목에서는 차이가 없는 것을 보여 (Table 8), 월별 농도는 지구별 농도에 비하여 그 차이가 작은 것으로 나타났다.

소로지구에서의 월별 TN과 TP 농도에 대한 Mann-Whitney U 검정은 Table 9와 같다. 침투수의 TN과 TP 농도는 8월에 다른 달과 유의적인 차이를 보이며 낮게 나타났는데, 이는 이 시기에는 시비(施肥)가 없고 식생의 발달로 작물에 의한 영양물질의 흡수량이 크기 때문으로 판단된다. 또한,

8월에는 침투수뿐만 아니라 지표면수의 농도도 낮은 것으로 보고되었다(Kim et al, 2001).

5. 침투유출부하 산정

관개기간 동안 침투유출부하는 식(1)과 같은 방법으로 산정하였다.

$$\text{침투유출부하(kg/ha)} = \text{침투량의 중앙값(mm/d)} \times \text{농도의 중앙값(mg/L)} \times \text{관개기간(d)} \times 100 \dots \dots (1)$$

소로, 오동 및 문의 지구에서는 4월 하순부터 9

Table 10 Comparison of this study with previous studies for percolation load of pollutant

Location, Nation	Study year	Irrigation day (d)	Load (kg/ha)			Reference
			TN	TP	COD	
Soro, Korea	1998-2003	163	3.12	0.033	10.7	This study
Munui, Korea	2002-2003	163	4.41	0.043	N/A	
Boeun, Korea	2000	143	7.75	0.155	N/A	
Gyeonggi, Korea	2001	107	1.73	N/A	N/A	Hwang et al.(2002)
Jeonbuk, Korea	1999-2000	153	12.8-14.6	0.070	N/A	Yoon et al.(2002b)
Jeonbuk, Korea	1999-2000	153	9.0-11.9	0.036-0.048	N/A	Yoon et al.(2002c)
Shiga, Japan	1987-1988	130~146	52.5-73.9	6.42-8.43	80(120 ^a)	Takeda et al.(1991)
Niigata, Japan	1985-1988	130	6.0-9.0	1.0-1.8	N/A	Kondoh et al.(1992)
Chiba, Japan	1991	105	19	2.01	316(474 ^a)	Ishikawa et al.(1992)

^aValues in parentheses represent values converted to COD_{Cr}
 N/A: Not available

월 하순까지, 보은지구에서는 5월 중순부터 9월 하순까지 담수에 의한 침투유출이 발생한다. 침투량이 측정된 3개 지구에서의 관개기 기간동안의 침투 유출부하량을 보면 TN이 3.12~7.75 kg/ha, TP가 0.033~0.155 kg/ha, COD가 10.7 kg/ha로 산정되었다(Table 10).

본 조사지구에서의 TN 침투유출부하는 다른 지역 논에서의 값과 비교하면 침투량과 농도가 약간 크거나 작은 우리나라의 경기도(Hwang et al. 2002), 전라북도(Yoon et al., 2002b, c) 및 일본 Niigata 지역(Kondoh et al, 1992)의 논과는 비슷하게 나타났지만, 침투량이 큰 일본 Shiga 지역(Takeda et al, 1991)과 Chiba 지역(Ishikawa et al, 1992)의 논에 비해서는 작은 것으로 나타났다. TP 침투유출부하량은 우리나라 다른 논에서의 값과는 비슷하게 나타났지만, 일본과 비교하면 최소 1/250 이하의 낮은 값을 보였으며, 소로지구의 COD 침투유출부하는 일본에서의 값의 1/10~1/40로 작게 나타났다. 조사지구에서의 침투유출부하가 일본에 비하여 작은 것은 작은 침투량과 낮은 침투수 농도 때문으로 생각된다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 충청북도 4개 지역의 논을 대상으로 침투수에서의 오염물질(TN, TP 및 COD)의 농도특성을 비모수검정을 이용하여 검토하고 부하량을 산정하였는데, 여기서 얻은 주요 결과는 다음과 같다.

1. TN, TP 및 COD 농도 자료들은 K-S검정 결과 비정규 분포를 나타내며, 각각의 중앙값이 1.91, 0.021, 6.6 mg/L로 평균값의 65, 64, 87%를 나타냈다.
2. 침투량과 침투수 농도는 Kruskal-Wallis 검정결과 지역별로 유의적인 차가 발생하여, 지역별 토양의 영향을 받는 것으로 나타났다. 또한, Mann-Whitney U검정 결과, 미사질 양토인 문의지구 논

에서의 TN과 TP 농도는 다른 세 지구에서의 값과 유의적인 차이를 보이며 가장 낮게 나타났다.

3. 소로지구에서의 침투수의 월별 TN과 TP 농도는 8월에 다른 달과 유의적인 차이를 보이며 낮게 나타났는데, 이는 이 시기에는 시비(施肥)가 없고 식생의 발달로 작물에 의한 영양물질의 흡수량이 크기 때문으로 판단된다.

4. 중앙값을 이용하여 산정한 관개기간 동안의 침투유출부하량은 TN이 3.12~7.75 kg/ha, TP가 0.033~0.155 kg/ha, COD가 10.7 kg/ha로서 일본 논에 비하여 작은 침투량과 낮은 농도로 인해 매우 작게 나타났다.

5. 일반적으로 우리나라 논에서의 침투수의 TN 농도는 1.6~4.9 mg/L로서, 질산성 질소(NO_3^-)의 지하수 음용수 수질기준(10 mg/L)이나 미국 캘리포니아 관개된 밭지대에서 보고된 NO_3^- 의 값(25~30 mg/L)(Keeney, 1982) 보다 훨씬 낮은데, 이는 경반과 같은 난투수층의 존재, 혐기성 토양에서의 탈질 등의 영향 때문으로 생각된다. 또한, TN, TP 및 COD의 침투유출부하는 일본 논에 비하여 상당히 작으므로 논으로부터의 유출부하를 저감시키기 위해서는 지표유출부하를 제어하는 방법을 확립할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 2004년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비에 의하여 연구되었습니다.

References

1. American Public Health Association, 1995. *Standard Methods for the Water and Wastewater Examination*, 19th ed., Washington, D. C.
2. Beduent, P.B and W.C. Huber, 1988. *Hydrology and Floodplain Analysis*, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts, 650.

3. 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, *Agricultural Water Management*, 68: 47-60.
4. Helsel, D.R., 1987, Advantages of nonparametric procedures for analysis of water quality data, *Hydrological Sciences-Journal*, 32(2): 179-190.
5. Helsel, D.R. and R.M. Hirsch, 1992. *Statistical methods in water resources*, Elsevier, Amsterdam, 522.
6. Hong, S.G. and S.K. Kwun, 2001. Relationship between rural watershed characteristics and stream water quality, *Journal of the KSAE*, 43(3): 56-65. (in Korean)
7. Hwang, H.S., G.G. Yoon, J.H. Jeon, B.H. Kim, 2002. Water and nutrient mass balances in paddy field with groundwater irrigation in low-rainfall year, *Journal of the KSAE*, 44(4): 39-50. (in Korean)
8. Kim, J.S., S. Y. Oh, K. S Kim and S.K. Kwun, 2001. Characteristics of pollutant concentrations at paddy field areas during irrigation periods, *Journal of the KSAE*, 43(6): 163-173. (in Korean)
9. Ishikawa, M., T. Tabuchi, E. Yamaji, J. Nakajima, 1992. Field test of water quality purification using underdrains -Study of water quality purification by soil layer in paddy fields(I)-, *Trans. of the JSIDRE*, 159: 81-89. (in Japanese)
10. Keeney, D.R., 1982, Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution, In: *Nitrogen in Agricultural Soils*, F. J. Stevenson, Ed., Monograph No. 22, ASA, Madison, WI, 605.
11. Kondoh, T., S. Misawa, M. Toyota, 1992. Characteristics of effluent loads of nutrient salts(N,P) from paddy field located in the alluvial and lower area in Hokuriku district -Research study on nutrient load in the low plain areas of Niigata-, *Trans. of the JSIDRE*, 159: 17-27. (in Japanese)
12. Kruskal, W.H. and W.A. Wallis, 1952. Use of ranks in one-criterion variance analysis, *J.A.S.A.*, 47: 583-621.
13. Lettenmaier, D.P., 1998. Multivariate non-parametric tests for trend in water quality, *Water Resources Bulletin*, 24(3): 505-512.
14. Ministry of Agriculture and Forestry, 2004. *Major Statistics Related to Agricultural Industry*. (in Korean)
15. Ministry of Environment, 1997. *Standard Methods for Water Quality*, pp.199-209. (in Korean)
16. Park, S.S., S.H. Lee, B.K. Park, S.H. Lee, 1995. Nonparametric statistical comparison of tributary water qualities between the south and north branches of the Han River, *Korean Journal of Limnology*, 28(3): 299-307. (in Korean)
17. SPSS, 1999. *SPSS 10.0 for Windows and SmartViewer*. SPSS, Chicago.
18. Takeda, I, A. Fukushima and R. Tanaka, 1997. Non-point pollutant reduction in a paddy-field watershed using a circular irrigation system, *Water Res.* 31(11): 2685-2692.
19. Takeda, I, T. Kunimatsu, S. Kobayashi, and T. Maruyama, 1991. Pollutants balance of a paddy field area and its loadings in the water system -Studies on pollution loadings from a paddy field area(II)-, *Trans. of the JSIDRE*, 153: 63-72. (in Japanese)
20. Yoon, C.G., B.H. Kim, J.H. Jeon, H.S. Hwang, 2002a. Characteristics of pollutant loading from paddy field area with groundwater irrigation, *Journal of the KSAE*, 44(5): 116-126. (in Korean)
21. Yoon, K.S., K.H. Han, J.Y. Cho, C.H. Choi,

- J.G. Son, J.K. Choi, 2002b. Water and nutrient balance of paddy field irrigated from a pumping station during cropping period, *Korean Society of Rural Planning*, 8(1): 15-25. (in Korean)
22. Yoon K.S., J.Y. Cho, J.K. Choi, J.G. Son, K.H. Han, Y.J. Kim, J.Y. Choi, 2002c. Changes of nutrient concentrations in root zone of a paddy plot and nutrient losses via infiltration during the rice cultivation period, *J. KCID*, 9(1): 59-69. (in Korean)