

관개기 곡간지 유역 필지논에서의 비점원오염물질 유출특성

Characteristics of Non-Point Sources Pollutant Loads at Paddy Plot Located at the Valley Watershed during Irrigation Periods

한 국 현*

Han, Kuk Heon

Abstract

The aim of this study was to evaluate the load of non-point sources pollutant at a paddy plot located at the valley watershed during irrigation period.

Irrigation, runoff and water quality data in the paddy plot were analyzed periodically from June 1 to October 31 in 2005. The observed amount of precipitation, irrigation, runoff for the experimental paddy plot during the irrigation period was 1,297.8, 223.2, and 825.4mm, respectively. Total-N concentrations ranged from 3.73 to 18.10mg/L, which was generally higher than the quality standard of agricultural water (1.0mg/L). Total-P concentrations ranged from 0.111 to 0.243mg/L and the average was 0.139mg/L. The observed runoff pollutants loadings from the paddy plot were measured as 34.4 kg/ha for T-N, 1.0 kg/ha for T-P and 213.8 kg/ha for SS. The non-point sources pollutant load in drainage water depends on rainfall and surface drainage water amount from the paddy plot. We are considering that these results were affected by rainfall as well as hydrological condition, soil management, whether or not fertilizer application, cropping, rice straw and plowing.

I. 서론

농업활동에서 이루어지는 수질오염은 주로 강우에 의해 집중적으로 이루어지는 특징을 가지며, 농업에서 발생하는 비점원오염은 지표수에 용해되거나 토양과 함께 유실되어 하천에

유입되어 강, 호소에 주요 오염원으로 작용하게 된다. 이러한 비점원오염은 유출구가 제한되어 있지 않고 광범위한 지역에 걸쳐 존재하며 점오염원에 비해 저농도이지만 유출량이 막대하여 유역의 오염부하량 구성상 큰 비중을 차지하고 있어 집중처리에 의한 관리가 현실적으로

*한국농어촌공사 농어촌연구원 (melilyhan@ekr.or.kr)

키워드 : paddy plot, water balance, nonpoint source pollution

불가능하다¹⁾. 또한, 영양물질의 유실은 비료의 경제적인 손실뿐만 아니라 환경적인 부담으로 작용하기도 하며 인간의 보건위생상 문제를 수반할 수 있다. 이와 같이 농업유역에서 발생하는 오염은 수환경의 악화, 부영양화, 농업환경에 부정적인 영향을 미쳐 잠재적인 하천오염원으로 작용할 수 있다²⁾.

특히, 우리나라의 경우 논이 전체 농경지 면적의 60% 이상을 차지하고 있는데, 논에서 영양물질의 이동과 물질수지는 벼에 대한 양분의 수급을 결정하고 주변 수계 환경에 영향을 미칠 수 있으므로 논에서 농업 비점원오염물질의 유출 메커니즘에 대한 정량적인 평가가 선행되어야 할 것으로 생각된다. 그러나, 농업 비점오염은 그 속성의 복잡성 때문에 이를 정량화하기에 어려움이 있다³⁾. 따라서, 연구자가 오염현상의 전체 과정에 대한 기초를 이해할 수 있는 모니터링은 농업 비점원오염 연구의 중요한 단계가 되고 있는데, 이 모니터링은 많은 시간과 노력을 필요로 하여, 논에서의 수문 및 오염부하 특성에 대한 연구는 근래에 들어서야 본격적으로 이루어지기 시작했다⁴⁻⁹⁾.

Zessner et al. (1996)에 의하면 오스트레일리아의 지표수에 대한 오염원의 영향을 평가한 결과 점오염원보다 비점오염원의 영향이 크게 나타나고 있음을 확인하게 되었다¹⁰⁾. 비슷한 연구로 Kawara et al. (1996)이 일본의 비와호를 대상으로 점오염원과 비점오염원의 환경영향을 평가한 결과 논에서의 영양물질 유출이 커다란 오염원으로 작용하고 있음을 확인하였다¹¹⁾. 최근에 농업 비점오염원으로 인한 수질 및 환경영향에 대한 심각성이 대두되면서 토양 특성을 이용한 오염물질 저감 및 화학비료의 시비량 감소¹²⁻¹⁵⁾, 논에서의 오염물질

정화기능의 활용^{16, 17)}을 이용한 연구결과가 보고되고 있다.

모니터링은 토지이용 및 농경지 관리관행이 비점오염에 미치는 영향평가와 전산모형 개발과 적용을 위해서도 시행되고 있으나, 현재까지 수도작이 이루어지고 있는 곡간지를 대상으로 한 논에서의 오염물질 유출입 특성을 파악하기 위한 모니터링 연구는 매우 적은 실정에 있다. 따라서, 본 연구는 2005년 6월부터 2005년 10월 31일까지 산지계류수를 관개수로 이용하고 있는 충남 공주시 정안면 고성리 고성저수지 상류유역에서 수도작 농업지대를 대상으로 관행 영농하에서 논에서의 유출특성을 조사하여 합리적인 원단위 산정 및 오염총량관리제도의 기초자료를 제공하는데 있다.

II. 재료 및 방법

1. 조사지구의 개요

본 연구의 대상유역으로는 충남 공주시 정안면 고성리 고성저수지 상류유역에 위치한 경지정리 된 논으로 축산폐수, 가정하수 및 산업폐수로부터 영향을 받지 않은 전형적인 농업지대이다. 시험포장은 단일필지에 대해 유출부하량 산정을 위해 논 2개 지점을 대상으로 실시하였으며, 시험포장 논토양의 토성은 미농무성의 삼각좌표 분류법에 의하면 모래, 미사, 점토가 각각 66.4, 8.4, 25.2%로 사질식양토(Loamy)이며, Loamy로 이루어져 있으며, 배수등급은 약간양호하며, 시험지구내 논 토양에 대한 이화학적 특성은 Table 1과 같다.

시험포장의 위치도와 유량 및 수질측정지점에

Table 1. Physical and Chemical Properties of the Paddy Soil in the Experimental Area

Chemical Properties		Particle Size Fraction (%)	
Organic Matter (g 100g ⁻¹)	1.8	Sand	66.4
pH (1:5)	5.4	Silt	8.4
Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	87.0	Clay	25.2
Exchangeable Cations (cmol ⁺ kg ⁻¹)			
Ca	1.40		
Mg	0.40		
K	0.16		

대한 모식도는 Fig. 1과 같으며, 관개량 및 눈으로부터 유출되는 배수량을 측정하기 위해 DIVER data logger (Van Essen Co., USA)를 설치하여 15분 간격으로 수위데이터를 측정하였으며, 강수량 및 기상 측정을 위해 고성리 마을회관에 AWS (Auto Weather Systems 2000, CASELLA CEL Co., UK)를 설치하여 기상자료를 수집하였다. 모든 측정기기는 2005년 6월부터 2005년 10월 31일까지 운영하였다(Fig. 1).

2. 영농현황

시험지구 눈에서의 영농활동, 시비시기 및 시비량 등에 대해 재배농가를 대상으로 설문 조사를 실시한 결과, 영농활동은 2005년 6월 05일부터 6월 10일 사이에 경운을 실시하여 눈에 물을 담수 시킨 후, 6월 8일부터 6월 13일 사이에 재식거리 15×30cm, 1주당 3본씩 기계이앙을 실시하였고, 수확은 10월 15일부터 10월 25일 사이에 완료하였다. 비영농기간 동안에는 거의 대부분의 농가에서 수확 후 벼짚을 분쇄하여 전량 눈에 살포하고 비경운 상태로 유지하였다.

눈에서의 시비는 질소의 경우 기비, 분얼비, 수비로 3회, 인의 경우에는 기비로서만 1회

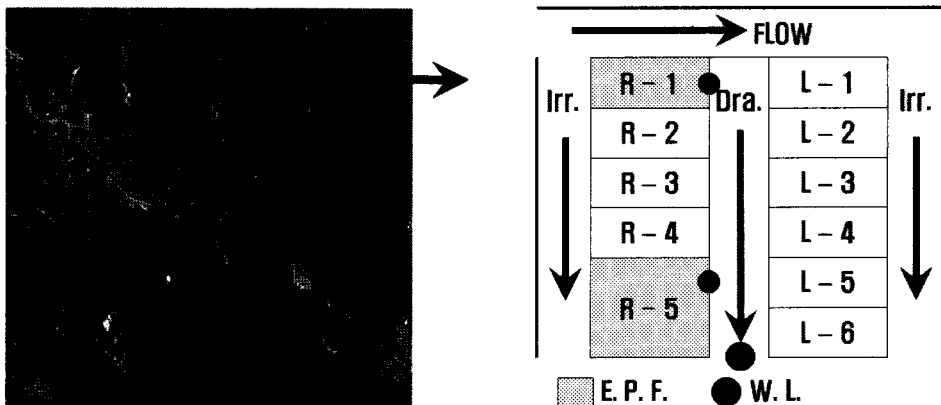


Fig. 1. Location of the Sampling Sites and Measurement Points at the Experimental Research Sites. (Irr.: Irrigation, Dra.: Drainage, E.P.F.: Experimental Paddy Fields, W.L.: Water Level)

Table 2. Status of Fertilization and Agricultural Activity at the Experimental Paddy Fields

Date	Fertilization and Agricultural Activity	Remark
5 June May to 10 June	1st Plowing and Basal Fertilization	72~87kg N ha ⁻¹ 27~49kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹
8 to 13 June	Rice Transplanting	Transplanting Distance, 15×30cm, Three Seedlings
25 to 30 June	Tillering Fertilization	18~28kg N ha ⁻¹
5 Aug. to 10 Aug.	Panicle Fertilization	18~31kg N ha ⁻¹
15 to 25 Oct.	Harvest	.

시비되고 있었다. 시비량을 살펴보면, 6월 5일부터 6월 10일 사이에 모내기 기비로 질소 72~78kg/ha, 용성인비 27~31kg/ha, 그리고 염화加里 29kg/ha를 전층시비 하였으며, 6월 25일부터 6월 30일 사이에 분얼비로 질소 24~28kg/ha, 8월 5일부터 8월 10일 사이에 수비로 질소 18~22kg/ha를 시비한 것으로 조사되었다. 본 시험포장에 시비된 화학비료의 양을 농촌진흥청의 추천 시비량(N : P₂O₅ : K₂O = 110 : 45 : 70kg/ha)과 비교하면 질소의 경우 약 104~125% 그리고 인의 경우 약 69% 수준으로 시비되고 있었다(Table 2).

3. 시료채취 및 분석방법

논에서 관개수는 유입구에서 채수하였으며, 유출수는 2주 간격의 정기조사와 강우에 의한 유출이 발생할 때에는 2시간 간격으로 수질샘플을 채취하였다. 모든 수질시료는 4℃ 이하의 온도로 보관하면서 분석시료로 사용하였다. 시료분석은 환경부(2002)의 수질오염공정시험방법에 준하여 실시하였는데, BOD (생물화학적 산소요구량; Biochemical Oxygen Demand)는 DO meter를 이용하여 초기에 DO를 측정 한 후 5일 경과 후 측정하여 값 차이로 표시하며, COD (화학적 산소요구량; Chemical Oxygen

Demand)는 산성법으로 T-N (총질소; Total Nitrogen) 및 T-P (총인; Total Phosphorus)는 Autoanalyzer (AACS, Bran+rubbe)를 이용하여 분석하였으며, 부유물질(Suspended Solids, SS)은 시료 1,000mL를 취하여 유리 섬유여지법으로 분석하였다¹⁸⁾.

4. 물수지

논에서의 물수지 방정식은 다음 식과 같이 표현되어진다.

$$W_t = W_{t-1} + I_t + P_t - (R_t + E_t + F_t)$$

여기에서, W는 일평균 담수심, I는 관개수량, P는 강수량, R은 유출수량, E는 증발산량, 그리고 F는 침투수량을 의미하고 있으며, 첨자 t는 t일을 나타내고 있다.

III. 결과 및 고찰

1. 강수량

연구기간인 2005년 6월부터 10월까지 시험 유역에 내린 강수량을 1,297.8mm이며, 강수

일수는 57일 정도로 상당히 많은 편이지만 이 중 30mm 이하 강수일수는 42일로 강우일수 전체의 73.7%를 차지하고 있었으며, 100mm 이상의 강우량은 7월 11일 131.2mm, 9월 21일 146.6mm 2일뿐이다.

2. 논외 물수지

벼 재배기간 동안 논에서의 물수지는 기상조건, 토양조건, 작물재배조건, 담수심 및 관개용수원 등 다양한 요인에 의해 지역별로 차이가 있다고 하는데^{7, 19)}, 조사기간 동안 유·출입된 수량에 대한 물수지를 계산한 결과는 양을 대입하여 물수지를 계산한 결과, R-1의 경우 강우량 1,297.8mm, 관개수량 223.2mm, 유출수량 825.4mm이며, R-5의 경우는 관개수량이 238.5mm, 유출량이 883.5mm로 조사되었다. 증발량은 대전지방기상청의 자료를 이용하였으며, 침투량의 경우는 한국농어촌공사에서 제시한 논에서의 침투량을 적용하여 물수지를 산정한 바, R-1 및 R-5에서 총 유입된 양은 1,521.0, 1,536.3mm이며, 총 유출된 양은 1,462.5, 1,521.4mm로 유입량과 유출량의 차이는 +58.5, +14.9mm로 R-1의 경우 경사지 논에서 강우시 관개수로에서의 월류된 물의 미측정에 의해 유입량이 많은 것으로

판단된다. Kwun and Yoo (1989)가 경기도 화성군 정남면 궤량리 인근 논에서 물수지를 계산한 결과, 강우량은 808.6mm, 관개수량은 715.4mm, 침투수량은 318.0mm, 유출수량은 1,060mm 그리고 증발산량은 668mm로 계산되지 않은 유입수량이 552.0mm로 보고한 바 있으며²⁰⁾, Lee and Heo (1995)가 벼 재배기간 동안 물수지를 조사한 결과, 강우량은 1,513mm, 관개수량은 500mm, 침투수량은 552mm, 증발산량은 598mm, 유출수량은 500mm로 나타났으며, 계산되지 않은 물의 양이 약 350mm로 보고한 바 있다.²¹⁾ 이와 같이 각 연구자별로 연구결과가 서로 상이하게 나타나고 있는데 이는 기상조건, 토양투수조건, 작물재배방식 및 용수원 등이 지역별로 다르기 때문에 나타나는 결과로 생각된다.

3. 농도특성

단일필지에서의 시기별 수질 변화는 Table 4에 나타낸 바와 같다. 정기조사의 경우 총 8회, 비정기조사(강우사상별)는 총 3회에 걸쳐 2시간 간격으로 수질시료를 채취하였다. 단일 필지인 R-1에서의 정기조사의 BOD는 0.85~4.86mg/L의 범위로 평균 2.08mg/L의 값을 보였으며, COD는 5.18~17.34mg/L의

Table 3. Water Balance During Cropping Period at the Experimental Paddy Fields (2005)

Type	Chemical Properties			Chemical Properties				③-⑦ (mm)
	① Rainfall	② Irrigation	③ Subtotal	④ Percolation*	⑤ Evaporation**	⑥ Surface Outflow	⑦ Subtotal	
R-1	1,297.8	223.2	1,521.0	253.6	383.5	825.4	1,462.5	58.5
R-5	1,297.8	238.5	1,536.3	253.6	383.5	883.5	1,521.4	14.9
Avg.	1,297.8	230.9	1,528.7	253.6	383.5	854.5	1,491.6	36.7

*Percolation : KRC, **Evaporation : Daejeon regional meteorological office

범위로 평균 9.17mg/L, T-N과 T-P의 평균 농도는 7.22, 0.139mg/L의 값을 보였으며, SS의 경우는 191.0mg/L로 상당히 높은 값을 나타내었다. R-5에서의 정기조사시 농도는 R-1보다 T-N을 제외하고는 전체적으로 약간 낮은 농도를 보였다.

강우에 대한 평균농도를 산정하는 가장 간단한 방법인 산술평균농도는 시간간격이 일정할 경우에는 타당한 평균농도를 제시될 수 있지만, 비점오염원 유출은 실시간으로 변화되는 유출량과 농도의 변화가 있을 뿐만 아니라 샘플 채취가 일정간격으로 이루어지지 않아

산술평균에 의한 평균농도는 대표성을 갖지 못하는 단점이 있다²³⁾. 따라서, 본 연구에서는 강우시 비점오염원 유출수의 유출특성을 가장 잘 반영하는 것으로 알려진 유량가중평균농도를 이용하여 각 실측기간의 유출수 평균농도를 산정하였다. 그 결과 R-1와 R-5의 경우 6월 10일의 강우사상에 대한 유량가중평균농도는 BOD 2.63, 2.67mg/L, T-N 12.50, 8.83 mg/L, T-P 0.370, 0.166mg/L, SS 208.3, 29.2mg/L로 BOD를 제외하고는 R-1의 값이 R-5보다 크게 조사되었으며, 6월 28일 41.4mm의 강우에 의한 유량가중평균농도는

Table 4. Water Quality Constituents at the Experimental Paddy Fields

Type	Regular Survey					
	Item	Arithmetic Mean Concentration (mg/L)				
		BOD	COD	T-N	T-P	SS
R-1(8)	avg.	2.08	9.17	7.22	0.139	191.0
	max	4.86	17.34	18.10	0.243	475.7
	min	0.85	5.18	3.73	0.111	109.4
R-5(8)	avg.	1.95	8.95	7.35	0.134	185.0
	max	4.06	14.25	15.49	0.242	511.1
	min	0.91	5.36	3.94	0.115	124.8

Irregular Survey							
Date	Rainfall (mm)	Runoff (mm)	Flow-weight Mean Concentration (mg/L)				
			BOD	COD	T-N	T-P	SS
June 10	47.8	11.0	2.63	5.03	12.50	0.370	208.3
June 28	41.4	17.6	4.64	8.32	5.19	0.148	19.5
Aug. 19	33.2	21.3	8.79	4.18	1.98	0.070	11.7
June 10	47.8	8.6	2.67	9.48	8.83	0.166	29.2
June 28	41.4	22.3	3.05	6.72	4.03	0.193	25.0
Aug. 19	33.2	14.6	8.62	3.09	2.34	0.069	10.7
June 10	47.8	11.0	2.63	5.03	12.50	0.370	208.3
June 28	41.4	17.6	4.64	8.32	5.19	0.148	19.5
Aug. 19	33.2	21.3	8.79	4.18	1.98	0.070	11.7
June 10	47.8	8.6	2.67	9.48	8.83	0.166	29.2
June 28	41.4	22.3	3.05	6.72	4.03	0.193	25.0
Aug. 19	33.2	14.6	8.62	3.09	2.34	0.069	10.7

T-P와 SS가 R-1보다 R-5가 높은 값을 나타내었으며, 6월 10일의 강우사상보다는 전체적으로 낮은 값을 보였다. 8월 19일 33.2mm의 강우에 의한 유량중평균농도는 R-1과 R-5가 COD와 T-N을 제외하고는 전체적으로 비슷한 값을 보였다. 이것으로 보아 6월 10일의 초기강우는 1차 논갈이를 실시하고 기비를 전량시비한 후 처음 강우에 의해 유출이 발생하여 농도가 상대적으로 높은 것으로 사료되며, 8월 19일 역시 수비에 의한 영향이 커 농도가 큰 것으로 판단된다. 이와 같이 시비후 강우의 양상에 따라 논에서 유출되는 농도는 크게 차이가 있음을 알 수 있었다.

4. 유출부하량

단일필지 논에서의 유출부하량을 산정한 결과는 Table 5와 같다. 연구기간인 2005년 6월 8일~9월 30일(114일)까지의 유출부하량은 R-1의 경우 BOD는 49.86kg/ha, COD 51.88 kg/ha, T-N 34.4kg/ha, T-P 1.0kg /ha, SS는 213.8kg/ha이며, R-5의 경우는 BOD 44.7kg/ha, COD 46.68kg/ha, T-N 31.14 kg/ha, T-P 1.2kg/ha, SS 166.4kg/ha로 T-P를 제외하고는 전체적으로 R-1에서 크게 조사되었다. 이는 R-1의 경우 유출량은 R-5보다 다소 적었지만, 농도가 높아 유출부하량이 큰 것으로 사료된다. Kim and Cho (1995)가 경기도 화성군 반월면 둔대리를 대상으로

벼 재배기간 동안 농업배수에 의한 영양물질의 유실량을 조사한 결과, 질소 15kg/ha, 인 0.59kg/ha¹⁹⁾, Kunimatsu (1986)은 1983년을 기준으로 일본에서 연구되었던 농경지에서 영양물질 이동에 대한 연구결과와 일본농림성 통계 자료를 인용하여 논에서 영양물질 수지를 계산한 결과, 지표유출을 통해 총질소 14.3 kg/ha, 그리고 총인 0.482 kg/ha가 손실된다고 하였으며²³⁾, Choi et al., (2001)이 전라북도 진안군 마령면 마령지구에서 단일 필지 논(0.5ha)을 대상으로 영농기간 동안 유출수에 의한 영양물질 유출량을 조사한 결과, T-N의 경우 48~52kg/ha, 총인은 1.1~1.6kg/ha가 유출된다고 하였다²⁴⁾. 본 조사결과와 지금까지 연구된 국내외 결과를 비교해 보면, 본 조사에서 질소와 인의 유출부하량이 중간 정도에 속했다. 이는 영농지역에 따른 비료 시용량, 시비방법, 시비시기, 관개용수 및 강우의 양과 성분의 차이 등 지역 특성으로 인하여 영양물질의 유출량에 차이가 발생한 것으로 사료되며, 차후 지역별로 논에서의 유출부하량을 지속적으로 모니터링하여 유출특성 로드맵을 작성할 필요가 있을 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 영농기간동안 산지계류수를 관개수로 하는 곡간지 논에서의 비점원오염물질

Table 5. Discharge Loads at the Experimental Paddy Fields

Type	Runoff (m ³)	BOD	COD	T-N	T-P	SS
R-1	4,013.5	49.86	51.88	34.40	1.00	213.8
R-5	4,256.8	44.70	46.68	31.14	1.20	166.4
vg.	4,135.2	47.28	49.28	32.77	1.10	190.1

유출특성을 분석하기 위하여 충남 공주시 정안면 고성리 고성저수지 상류유역에 위치한 경지정리 된 단일필지(2필지) 논을 대상으로 수문 및 수질 조사를 통해 유출특성을 파악하였다.

단일필지 논에서 물수지를 산정한 결과, R-1 및 R-5에서 총 유입된 양은 1,521.0, 1,536.3mm이며, 총 유출된 양은 1,462.5, 1,521.4mm로 유입량과 유출량의 차이는 +58.5, +14.9mm로 R-1의 경우는 관개수로에서의 월류된 물이 유입되어 유입량이 많은 것으로 보이며, R-5의 경우는 경사지 논에서 강우시 월류된 물의 미측정에 의해 유입량이 많은 것으로 판단된다.

논에서 유출된 유출수의 농도를 보면 R-1에서의 평상시 BOD는 0.85~4.86mg/L의 범위로 평균 2.08mg/L의 값을 보였으며, COD는 5.18~17.34mg/L의 범위로 평균 9.17mg/L, T-N과 T-P의 평균농도는 7.22, 0.139mg/L의 값을 보였으며, SS의 경우는 191.0mg/L로 상당히 높은 값을 나타내었다. R-5에서의 평상시 농도는 R-1보다 T-N을 제외하고는 전체적으로 약간 낮은 농도를 보였다.

단일필지 논에서의 유출부하량은 R-1의 경우 BOD는 49.86kg/ha, COD 51.88kg/ha, T-N 34.4kg/ha, T-P 1.0kg/ha, SS는 213.8kg/ha이며, R-5의 경우는 BOD 44.7kg/ha, COD 46.68kg/ha, T-N 31.14 kg/ha, T-P 1.2kg/ha, SS 166.4kg/ha로 T-P를 제외하고는 전체적으로 R-1에서 크게 조사되었다. 이것으로 보아 같은 필지에 위치한 논에서도 영농패턴, 시비시기 그리고 물관리 등에 따라 논에서의 유출특성이 상이하므로, 많은 모니터링 연구를 통해 지역특성, 영농/시비현황,

물관리 등을 통해 논에서의 비점원오염물질의 유출특성 로드맵을 작성하거나 또는 이들 모니터링 자료를 수집·관리할 수 있는 제도적인 기구를 만들 필요가 있다고 사료된다.

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 박사후 연구원 지원사업에 의하여 수행된 것임

참고문헌

- Chescheir G. M., J. M. Gilliam, R. W. Skags, and R. G. Broadhead, 1991. Nutrient and sediment removal in forested wetlands receiving pumped agricultural drainage water, *Wetlands*, 11: pp. 87~103.
- Cho, J. Y., K. W. Han, J. K. Choi, J. W. Goo, and J. G. Son, 2000. Runoff loading of nutrients from a paddy fields during non-cropping season, *J. Kor. Soc. Agric. Eng.* 42(2): pp. 63~70 (in korean).
- Choi, J. D., C. M. Lee, Y. H. Choi, 1999. Effect of land use on the water quality of small agricultural watersheds in Gangwon-do, *Korea Water Resources Association* 32(4): pp. 501~510 (in korean).
- Choi, J. K., J. W. Koo, J. G. Son, K. S. Yoon, and J. Y. Cho, 2001. Nutrient balance and runoff loading during cropping period from a paddy plot in Maryeong irrigation district, *J. Kor. Soc. Agric. Eng.* 43(5): pp. 153~162 (in Korean).
- Choi, J. K., K. W. Han, J. W. Koo, J. G. Son, J. Y. Cho, and Y. J. Kim, 2000. Characteristics of stream sediments and water quality in Boryung fresh-water reservoir watershed, *J. Kor. Soc. Agric. Eng.* 42(2): pp. 84~93 (in korean).
- Coale F. J., P. S. Porter, and W. Davis, 1994. Soil amendments for reducing phosphorus concentration of drainage water from Histosols, *Soil Sci. Soc. Am. Jour.* 58: pp. 1470~1475.
- Hong, S. G. and S. K. Kwun, 1989. Characteristics of Poll-utant Loading into Streams from Flooded Paddies, *J. Kor. Soc. Agric. Eng.* 31(3): pp. 92~102 (in korean).
- Kawara, O., K. Hirayma, and T. Kunimatsu, 1996. A study on contaminant loads from the forest and rice paddy fields, *Water Sci. Technol.*, 33: pp. 159~168.

9. Kim, B. Y., and J. K. Cho, 1995. Nutrient effluence by the outflowing water from the paddy field during rice growing season, Kor. Comm. Irrig. Drain. 2(2): pp. 150~156 (in korean).
10. Kim, J. S., S. Y. Oh, and K. S. Kim, 1999. Characteristics of concentration and load of nitrogen and phosphorus in paddy field areas, J. Kor. Soc. Agric. Eng. 41(4): pp. 47~56 (in korean).
11. Kim, S. S., J. S. Kim, G. Y. Bang, Y. M. Kwun, and Y. J. Jung, 2002. The Estimation of the Unit Load and Characteristics of Non-Point Source Discharge According to Rainfall in Kyongan Watershed, KSEE, 24(11): pp. 2019~2027 (in korean).
12. Kunimatsu T., L. Rong, M. Sudo, and I. Takeda, 1994. Runoff loadings of materials causing water pollution from a paddy field during a non-planting period, The Japanese Soc. Irrig. Drain. and Reclam. Eng. 170: pp. 45~54.
13. Kunimatsu, T., 1986. Management and runoff of nutrients from farming land, Water Management Technol., 27: pp. 713~720.
14. Kwun, S. K., and M. J. Yoo, 1989. Establish prevention of eutrophication and environmental pollution of reservoirs(Ⅱ), Korea rural community and agricultural Corporation (in Korean).
15. Lee, C. K., K. C. Lee, H. J. Lee, H. I. Rhu, M. H. Lee, S. H. Jun, S. S. Kim, S. K. Kim, and S. D. Kim, 1990. Studies on good agricultural practice in the use of fertilizer and agrochemical, Report of Natl. Environ. Res., 12: pp. 293~310 (in korean).
16. Lee, K. S., and I. B. Heo, 1995. Effect of nitrogen nutrient during rice cultivation period, National Inst. of Agric. Sci. Technol pp. 346~349 (in korean).
17. Ministry of environment, 2002. Korean standard methods (in Korean).
18. Oh, S. Y., J. S. Kim, K. S. Kim, S. J. Kim, and C. G. Yoon, 2002. Unit loads of pollutants in a paddy fields area with large-scaled plots during irrigation seasons, J. Kor. Soc. Agric. Eng. 44(2): pp. 136~147 (in korean).
19. Shin, D. S., and S. K. Kwun, 1990. The Concentration and Input/Output of Nitrogen and Phosphorus in Paddy Fields, Kor. Soc. Agric. and Environ. 9(2): pp. 133~141 (in korean).
20. Takeda I., T. Kunimatsu, S. Kobayshi, and T. Maruyama, 1991. Contaminant balance of a paddy field area and its loading in the water system-studies on pollution loadings from a paddy field area, The Japanese Soc. Irrig. Drain. Reclam. Eng. 153: pp. 63~72.
21. 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: pp. 2685~2692.
22. Yoon, C. J., J. H. Hwang, J. H. Jeon, and J. H. Ham, 2003. Analysis of nutrients balance during paddy cultivation, Kor. J. Limnol 36(1): pp. 66~73 (in korean).
23. Yuan, Y., and J. K. Mitchell, 1999. A method to evaluate pollutant loads from tile drains. Transactions of the ASAE 42(5): pp. 1313~1319.
24. Zessner, M., T. Kaas, P. H. Brunner, and H. Fleckseder, 1996. Regional material accounting of nitrogen in upper Austria, Water Sci. Technol. 33: pp. 89~96.