

수질 모니터링과 원단위법을 이용한 농업소유역의 오염부하량 추정

Estimation of Pollutant Loadings from Agricultural Small Watershed Using the Unit Loading Factor and Water Quality Monitoring

김 상 민* · 강 문 성** · 박 승 우***

Kim, Sang Min · Kang, Moon Seong · Park, Seung Woo

Abstract

A hydrologic and water quality monitoring network were established in the Balhan-reservoir watershed, which has 29.79 km² in size, to analyze the characteristics of pollutant loading from an agricultural small watershed. Soil type, land use, hydrologic soil group, population and livestock were also surveyed to make clear the pollutant sources and to calculate the pollutant loadings by the unit loading factor method which was proposed by the Ministry of Environment. From the 5-year hydrologic monitoring results, sub-watersheds located in the upstream of the reservoirs showed higher average runoff ratio. The calculated daily pollutant loadings by the unit loading factor method from HP#2 sub-watershed in the downstream of Balhan reservoir, were much greater than observed.

Keywords : Water quality monitoring, Pollutant loadings, Unit loading factor

I. 서 론

농업활동으로 인한 수질오염물질은 주로 강우에 의해 집중적으로 배출되는 특징을 가지며, 농업에서 발생하는 비점원오염은 강우-유출에 따른 지표

유출, 지하침투 또는 관개배수 과정 중 잉여수의 형태로 하천이나 호소로 유입된다.^{1,2)} 비점원오염은 유출구가 제한되어 있지 않고 광범위한 지역에 걸쳐 존재하며 유출량이 대단히 많기 때문에 집중처리에 의한 관리가 현실적으로 불가능하다. 농업유역에서 발생하는 오염은 수환경의 악화, 부영양화, 농업환경에 부정적인 영향을 미쳐 잠재적인 하천오염원으로 작용할 수 있으며, 비점원 오염 물질은 독성은 약하지만 수체의 부영양화나 수질을 악화시킬 정도의 수질오염원으로 작용한다.^{5,12)} 섬진강댐 저수지 유역을 대상으로 강우기, 비강우기로 나누

* 서울대학교 대학원
** 서울대학교 신진연구원
*** 서울대학교 농업생명과학대학
* Corresponding author. Tel.: +82-31-290-2371
fax: +82-31-292-6807
E-mail address: smkim97@sun.ac.kr

어 오염부하량을 추정한 결과 TN, TP의 경우 연간 총부하량의 50%, SS의 경우 연간 총부하량의 73%가 강우시에 유입되는 것으로 조사되었다.⁸⁾

최근 들어 세계적으로 농업비점오염원으로 인한 수질오염문제를 해결하기 위한 연구개발이 활발하게 이루어지고 있으나 우리나라에서는 농업비점원에 대한 체계적인 연구조사가 미진한 상태이다.⁵⁾ 농업유역에 대한 수질 모니터링 결과 전라북도 지역의 경우 농업용수를 공급하기 위한 농업용 저수지의 경우 상당수가 농업용수 수질기준을 초과하고 있는 것으로 조사되었으며, 보령 담수호 유역도 대체로 농업용수 수질기준을 초과하는 등 농업유역에서의 수질환경은 개선이 필요한 것으로 조사되었다.^{3),5)}

농업유역에서 발생하는 수질오염의 원인과 현황을 정량적으로 구명하고 수질오염을 저감하기 위한 최적관리방안을 마련하기 위해서는 대상 유역에 대한 광범위한 수문, 수질 모니터링이 필요하다. 최근 농업유역, 댐저수지 유역 등을 대상으로 시험유역의 운영을 통해 얻어진 수문, 수질 모니터링 자료로부터 유역단위 오염부하량을 측정하고 그 특성을 분석하는 연구결과가 발표되고 있다.^{2),5),6),7),9),12)} 또한, 유역내의 수질오염 원인을 구명하고 농경지로부터의 비점원 오염부하량을 추정하기 위해 논포장단위에서의 오염부하량을 측정하여 농경지로부터의 비점오염을 추정하기 위한 연구가 이루어지고 있다.^{1),4),11),13),15)}

한편, 국내의 경우 환경부에서 제시한 오염발생 원단위를 적용하여 오염부하량을 산정하는 방법을 일반적으로 활용하고 있으나, 이 방법은 원단위 값이 연간 일정하다는 가정 하에 오염부하량을 산정하기 때문에 시기별 오염부하량 변화를 파악하기 어려운 단점이 있다.¹⁴⁾ 본 연구에서는 농업소유역에 대한 수문, 수질 모니터링을 통해 오염부하 양상을 분석하고, 그 결과를 원단위 추정치와 비교하여 원단위를 이용한 오염부하 추정의 적정성을 고찰하였다.

II. 연구방법

1. 시험유역의 개요

농업유역의 수문, 수질 모니터링을 위한 시험유역은 경기도 화성군 봉담읍 및 팔탄면 소재 발안저수지와 기천저수지 유역(이하 발안저수지 유역)을 선정하였다. 시험유역은 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과에서 1995년부터 수문, 수질 관측을 실시해오고 있으며, 유역경계와 수문, 수질 계측망은 Fig. 1에서 보는 바와 같다.

발안저수지 유역은 산간지, 중간간지, 평탄지, 취락지 등 다양한 토지이용상태를 보이고 있으며, 경지정리지구 및 개발보전지를 포함하고 있음은 물론, 도시화의 진행 등으로 수질 오염 수준 물질 배출량에서 다양한 특징을 보이고 있다.

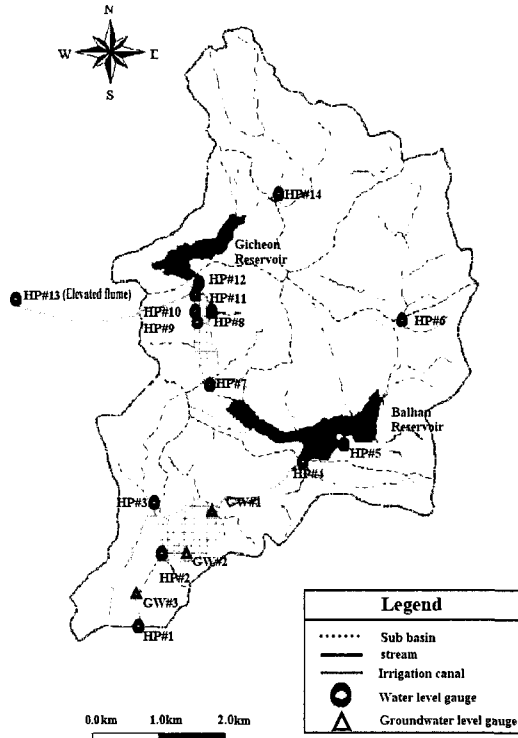


Fig. 1 Monitoring sites of study watershed

유역의 수문, 수질 모니터링을 위해 유역의 특성, 오염부하량, 물관리 상황 등을 고려하여 14개의 수위측점과 7개의 수질측점을 설치하였으며, 발안저수지 관개지구 내 지하수 변동을 고찰하기 위해 관개지구의 상류부, 하류부에 지하 암반까지 3개소를 천공하여 지하수위와 수질을 측정할 수 있도록 하였고, 강우량을 측정하기 위해 발안저수지 유역내에 위치한 팔탄면 사무소에 디지털 강우계를 설치하였다.

유역의 수문학적 특성인자를 조사하기 위해 1/5,000, 1/25,000 NGIS 수치지도와 1/25,000 토양도를 이용하였으며, 토지이용 분류를 위해 Landsat-5 TM 위성영상을 분석하였다. 발안저수지 유역의 수질 모니터링은 월 1회 정기적으로 실시하였으며, 폭우시 수시 샘플링을 통해 공정시험법에 의해 수온, pH, DO, SS, TN, TP 등의 항목을 분석하였다.

본 연구에서는 하천수위 관측지점 4개소와 저수지 관측지점 2개소 등 6개 소유역을 대상으로 수문학적 특성인자, 토양특성, 토지이용, 인구 및 가축사육현황 등의 자료를 조사하였고, 수문/수질 모니터링 결과를 정리하여 분석하였다.

2. 유역특성인자 조사

가. 수문학적 특성인자

시험유역의 강우-유출 특성 분석과 오염원의 정

량적 해석을 위한 기초 자료로 각 소유역별로 유역면적, 형상계수, 유로장, 최대기복량, 기복량비, 평균하천경사 등의 수문학적 특성인자를 조사하였다. 수문, 수질 특성에 영향을 주는 유역경계 및 지상인자는 1/5,000 NGIS 수치지도와 AutoCAD와 ArcView3.2를 이용하여 추출하였으며, 1/25,000 지형도와 현장답사를 통하여 보완하였다.

유역지상인자 및 하천 특성은 각 소유역별로 유역면적, 형상계수, 유로장, 최대기복량, 기복량비, 그리고 하천형태 등을 구하였으며, 그 결과는 Table 1과 같다.

유역 형상계수는 HP#5가 4.6584로 가장 크고, HP#2가 0.128로 가장 작았다. 그런데, HP#2, HP#14을 제외한 대부분의 유역에서 형상계수의 값이 1.0 이상의 값을 나타내고 있어 유역의 폭이 길이보다 큰 형상을 보이고 있다. 유역의 최대 기복량은 HP#2에서 316 m로 가장 큰 값을 보였으며, 대부분 230~260 m 범위의 값을 보여 유역의 경사가 심한 것으로 조사되었다.

나. 토양특성, 토지이용

유역의 토양특성은 1/25,000 정밀토양도를 이용하여 소유역별로 토양을 분류하였으며, 그 배수특성의 속성에 따라 수문학적 토양군으로 분류하였다. 소유역별 수문학적 토양군은 Table 2에 나타난 바와 같이 HP#2는 A, B군이 각각 55%, 22% 등으로 전체의 약 77%에 달하였으며, 최상류 지점

Table 1 Hydrologic characteristics of study watershed

Sub-watershed	Area (ha)	Shape factor	Stream length (km)	Maximum relief (m)	Relief ratio	Average stream slope (m/m)
HP #2	2,648.8	0.1280	14.40	316	0.0220	0.0076
HP #5	2,162.5	4.6584	11.45	236	0.0240	0.0092
HP #6	412.5	1.5620	1.63	246	0.0895	0.0178
HP #7	1,068.8	2.2724	6.95	246	0.0354	0.0127
HP #12	756.3	1.0124	5.38	266	0.0495	0.0127
HP #14	506.3	0.5184	3.13	266	0.0832	0.0218

Table 2 Land uses and hydrologic soil conditions of study watershed

Sub-watershed	Hydrologic soil condition (%)				Land use (%)			
	A	B	C	D	Paddy	Upland	Forest	Others
HP #2	54.6	21.5	20.8	3.1	23.0	4.5	63.3	9.2
HP #5	35.7	21.3	40.3	2.7	20.2	3.7	66.9	9.3
HP #6	49.7	14.6	31.8	3.9	26.3	9.6	58.1	6.1
HP #7	49.6	18.6	26.5	5.3	14.9	2.2	75.0	8.0
HP #12	51.0	47.1	0.0	2.0	13.7	1.7	75.9	8.6
HP #14	61.0	34.9	0.0	4.0	16.2	1.2	78.7	3.9

인 HP#14에서는 A, B군이 각각 61%, 35%로 대부분 A, B군의 비중이 높은 데, 이는 논 면적이 상대적으로 많기 때문이다.

유역의 토지이용상태를 토지이용도와 행정조사 결과를 이용하여, 산림, 논, 밭, 대지, 기타 등으로 구분하였으며, 그 결과는 Table 2에서와 같다. Table 2에서 보는 바와 같이 소유역별 토지이용 현황은 HP#6의 경우 논, 밭의 면적이 각각 26.3%, 9.6%로 논밭의 면적이 상대적으로 크며, HP#14의 경우 유역의 최상에 위치하여 산림지의 구성비가 79%로 산간지에 가까운 토지 이용 구조를 보였다. 이상과 같이, 대상유역내의 소유역은 토지이용 측면에서는 산간지, 중산간지, 경지, 취락지 등 다양한 분포를 나타내고 있다.

다. 인구, 가축사육현황
유역에서의 오염원인을 분석하고, 원단위 오염부

하량을 추정하기 위해 소유역별 인구 및 가축사육 현황을 1999년 조사하였으며, 그 결과는 Table 3과 같다. Table 3에서 보는 바와 같이 유역의 말단부분에 위치한 HP#2 소유역의 경우 인구는 6,499명으로 조사되었으며, 한우 462두, 유우 1,102두, 돼지 1,150두로 조사되었다.

III. 결과 및 고찰

1. 수문 모니터링 결과

시험유역에 대한 수문현상의 시간적·공간적 변화를 조사하고, 이들 간의 상호관계를 구명하기 위하여 유역의 기상, 강수량, 하천 수위와 유량, 저수위와 저수량, 관개량 등의 수문인자들을 조사 분석하였다. 강수량을 제외한 기상자료는 유역으로부터 약 14 km 떨어진 수원측후소의 관측자료를 이용

Table 3 Status of population and livestock (1999)

Sub-watershed	Population	Korean cattle	Beef cattle	Dairy cattle	Pig	Deer	Poultry
HP #2	6,499	462	89	1,102	1,150	40	166
HP #5	5,071	361	84	1,019	1,150	40	162
HP #6	2,298	16	0	540	1,045	20	24
HP #7	882	32	84	271	0	15	132
HP #12	630	8	84	243	0	0	132
HP #14	481	0	84	243	0	0	131

하였으며, 강수량은 유역내 설치한 강우계의 자료를 사용하였다. 하천 및 수로상의 수위는 HP#1~HP#14 등 14개 지점에서 압력식수위계, 자기수위계와 수위표를 이용하여 측정하였다. 발안저수지와 기천저수지 수위 측정인 HP#5, HP#12를 제외한 시험유역의 측정별 수위-유량관계를 구하여, 측정별 유량을 계산하였다.

Table 4는 강우량과 소유역별 유출량을 연도별로 보여주고 있으며, HP#14 관측지점은 수위계 고장으로 1996, 1998, 1999년 자료가 결측되었다. Table 4에 정리된 강우량은 수위관측지점별 결측구간을 제외한 기간동안의 강우량을 합산한 것이다. 유출율은 저수지 상단에 위치한 HP#6, HP#14 소유역이 저수지 하단에 위치한 HP#2, HP#7 소유역에 비해 상대적으로 높게 나타났다.

2. 수질 모니터링 결과

발안지 유역의 각 수질측점에 대한 수질분석 결과는 Table 5와 같다. 각 측정별 pH의 평균치는 7.1~8.2의 범위를 보여 대체로 중성의 값을 나타냈다. DO의 평균치는 7.4~9.1 mg/l의 범위를 보였으며, TN의 평균치는 1.9~7.3 mg/l, TP의 평균치는 0.047~0.387 mg/l의 범위를 나타냈다. 발안저수지 (HP#3) 측정과 기천저수지 (HP#12) 측점에 대해 각 항목별 농업용수 수질기준과 비교해 본 결과, pH(6.0~8.5), DO(2 mg/l 이상), TP(0.1 mg/l 이하), SS(15 mg/l 이하)의 경우 수질기준을 만족하고 있으나 TN(1.0 이하)의 경우 농업용수 수질기준을 초과하고 있다.

Table 4 Yearly summary of precipitation and discharge

Sub-watershed	Year	Discharge		Precipitation (mm)	Runoff ratio (%)
		(10 ⁶ m ³)	(mm)		
HP #2	1996	2.50	94.2	496.5	19.0
	1997	8.16	308.0	1054.0	29.2
	1998	11.68	440.8	1588.3	27.8
	1999	14.37	542.1	1556.1	34.8
	2000	6.51	245.8	1312.8	18.7
HP #6	1996	1.50	364.8	838.5	43.5
	1997	2.71	659.9	1228.0	53.7
	1998	2.64	644.3	999.3	64.5
	1999	2.47	601.9	1194.0	50.4
	2000	2.70	659.6	1341.2	50.2
HP #7	1996	1.51	141.2	830.8	17.0
	1997	1.70	158.6	636.0	24.9
	1998	4.28	399.9	832.1	48.1
	1999	3.44	321.4	1194.0	26.9
	2000	5.27	492.2	1252.2	39.3
HP #14	1997	1.43	280.0	694.5	40.3
	2000	2.44	482.7	820.6	58.8

Table 5 Summary of water quality monitoring

Sub-watershed	Data span (Number of data)	Item	pH	DO	SS	TN	TP
				(mg/ℓ)			
HP #2	1996/3 ~2000/9 (73)	Max.	8.7	12.1	372.0	19.9	0.730
		Min.	6.0	1.7	0.6	0.2	0.002
		Mean	7.1	7.4	46.1	3.1	0.068
		STD	0.5	2.2	65.7	3.4	0.096
HP #5	1996/3 ~2000/9 (68)	Max.	9.7	15.4	738.0	9.4	0.480
		Min.	6.4	1.2	1.6	0.3	0.005
		Mean	8.2	8.4	64.9	2.1	0.080
		STD	1.0	2.9	99.3	1.4	0.075
HP #6	1996/3 ~2000/9 (76)	Max.	9.7	12.4	13236.0	25.4	1.550
		Min.	6.0	0.4	1.0	1.2	0.018
		Mean	7.4	7.4	447.2	7.3	0.387
		STD	0.7	2.6	1601.8	4.0	0.271
HP #7	1996/3 ~2000/9 (77)	Max.	9.4	15.4	2078.0	9.4	0.984
		Min.	5.9	1.0	0.4	0.1	0.001
		Mean	7.4	9.1	129.5	1.9	0.066
		STD	0.7	3.2	343.2	1.8	0.132
HP #12	1996/3 ~2000/9 (68)	Max.	10.3	15.2	1292.0	9.0	0.550
		Min.	5.9	1.1	1.8	0.4	0.001
		Mean	8.1	7.6	73.9	1.9	0.047
		STD	1.1	2.4	172.0	1.5	0.070
HP #14	1996/3 ~2000/9 (65)	Max.	8.3	12.3	5955.6	7.3	1.160
		Min.	5.9	0.9	2.2	0.7	0.015
		Mean	7.1	8.2	274.2	3.1	0.147
		STD	0.6	2.6	1021.9	1.5	0.178

Table 6 Pollutant load - runoff discharge (L-Q) relationships

Sub-watershed	Item (kg/day)	L-Q Relationship	R ²
HP #2	TN	$TN = 0.0034Q^{0.9632}$	0.9109
	TP	$TP = 5 \times 10^{-6} Q^{1.2193}$	0.9023
HP #6	TN	$TN = 0.0256Q^{0.8569}$	0.9215
	TP	$TP = 5 \times 10^{-4} Q^{0.9687}$	0.9232
HP #7	TN	$TN = 0.0019Q^{0.9926}$	0.8639
	TP	$TP = 5 \times 10^{-6} Q^{1.2413}$	0.8964
HP #14	TN	$TN = 0.0038Q^{0.9717}$	0.9299
	TP	$TP = 3 \times 10^{-5} Q^{1.1314}$	0.9034

Q : Discharge (m³/day)

가. 유량-부하량 관계

하천측점에서 오염부하량을 측정하기 위해 측정별로 오염부하량(L)과 유량(Q)의 관계를 회귀분석으로 산정하였다 (Table 6). 회귀식의 결정계수(R²)은 TN의 경우 0.8639~0.9299, TP의 경우 0.8964~0.9232의 범위를 보였다.

나. 소유역별 부하량

유량-부하량 관계로부터 개별부하량을 계산하고, 이를 평균하여 소유역별 일평균부하량을 산정하였다. Table 7은 TN과 TP에 대한 소유역별 일평균 오염부하량을 보여주고 있다. 발안저수지 하단에 위치한 HP#2 소유역은 유역면적이 크고 일평균유량이 많아 TN의 일평균부하량이 67.17 kg/day로

Table 7 The summary of daily mean pollutant loads from sub-watersheds

Sub-watershed	Data span (day)	Discharge ($10^3 \text{ m}^3/\text{day}$)	Pollutant	Daily mean pollutant load (kg/day)
HP#2	1,400	30.87	TN	67.19
			TP	2.24
HP#6	1,325	9.07	TN	52.11
			TP	3.25
HP#7	1,190	13.61	TN	23.73
			TP	1.15
HP#14	343	9.53	TN	26.56
			TP	3.38

Table 8 Unit pollutant load with respect to land use

Item ($\text{kg}/\text{km}^2 \cdot \text{day}$)	BOD	TN	TP
Paddy	2.30	6.56	0.61
Upland	1.59	9.44	0.24
Forest	0.93	2.20	0.14
Other land use	0.96	0.76	0.03

Table 9 Unit pollutant load with respect to population and livestock

Item (g/capita/day)	BOD	TN	TP
Population	48.6	13.0	1.45
Dairy cattle	556	161.8	56.7
Beef cattle	528	116.8	36.1
Pig	109	27.7	12.2
Deer	10	5.8	0.9
Poultry	5.2	1.1	0.4

가장 큰 값을 보이거나 TP은 평균농도가 낮아 일평균부하량은 2.24 kg/day로 상대적으로 작은 값을 보였다. 기천저수지 하단에 위치한 HP#7의 경우도 유역면적이 크고 일평균유량이 $13.61 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{day}$ 로 상대적으로 크지만, TN과 TP의 평균농도가 낮아 일평균부하량은 각각 23.73, 1.15 kg/day로 가장 작은 값을 보이고 있다.

3. 원단위를 이용한 오염부하량 추정

환경부에서는 유역에서 배출되는 오염부하량을 인구, 가축, 토지이용 등에 따라 원단위를 적용하여 발표하였으며, Table 8, 9는 토지이용과 인구, 축산에 의한 원단위 발생부하량을 보여주고 있다.⁸⁾

환경부에서 제시한 원단위 추정방법을 이용하여 시험유역에서의 오염부하량을 추정하고 모니터링을 통해 얻어진 실측 오염부하량과 비교한 결과 Fig. 2, 3과 같은 결과를 보였다. Fig. 2와 3에서 발안저수지 하단의 HP#2 소유역의 경우 모두 실측치에 비해 원단위로 계산한 값이 크게 나타났다. 이러한 현상은 기천저수지 하단에 위치한 HP#7 소유역에서도 저수지 상단에 위치한 HP#6, HP#14 소유역에 비해 원단위로 계산한 값이 상대적으로

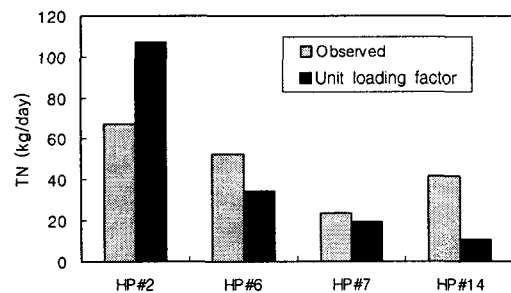


Fig. 2 Comparison between measured daily TN load and estimated TN load by the unit pollutant load

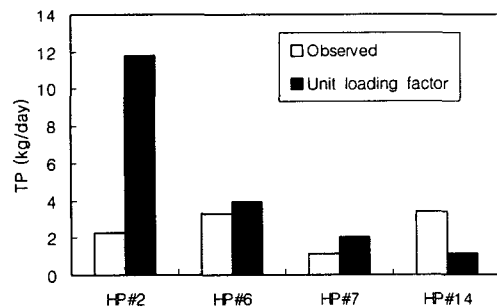


Fig. 3 Comparison between measured daily TP load and estimated TP load by the unit pollutant load

크게 나타나고 있다. HP#14 소유역의 경우 실측치가 원단위로 계산한 값에 비해 크게 나타나고 있는데, 이는 원단위에서 고려하지 못하는 유역내의 공사구간에서 발생하는 오염원이 크기 때문이다. HP#6, HP#14 소유역의 경우 유역면적에 비해 오염부하량이 높게 나타나고 있는데, 이는 인구밀도가 높고 가축사육 두수가 다른 소유역에 비해 상대적으로 많기 때문인 것으로 추정된다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 농업소유역의 토지이용에 따른 농업소유역에서의 오염부하량을 분석하기 위해 경기도 화성군에 위치한 유역면적 29.79 km²의 발안저수지 유역을 대상으로 수문·수질 자료를 수집하였으며, 이를 이용해 연도별, 소유역별 수문·수질 특성을 분석하였다. 또한, 환경부에서 제시한 원단위 오염부하량 추정법을 이용하여 추정한 결과와 실측 오염부하량을 비교, 분석하였다.

본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 유역면적 29.79 km²의 발안저수지 유역을 대상으로 수문·수질 관측망을 구축하고 1996년부터 2000년까지의 모니터링 자료를 조사, 분석하였다.
- 2) 수문모니터링 결과, 발안저수지 하단에 위치한 HP#2 소유역의 유출률은 19%~34.8%의 범위였다. 수문학적 토양군 C, D군의 비율이 상대적으로 높고, 유역의 상류에 위치하고 있어 하천평균경사가 비교적 큰 HP#6 소유역의 유출률은 43.5%~64.5%로 가장 높게 나타났다.
- 3) 수질모니터링 결과, DO 평균치는 7.4~9.1 mg/l, TN의 평균치는 1.9~7.3 mg/l, TP의 평균치는 0.047~0.387 mg/l의 범위를 나타냈다. 발안저수지 (HP#5) 측정점과 기천저수지 (HP#12) 측정점에 대해 농업용수 수질기준과 비교해 본 결과, pH, DO, TP, SS의 경우 수질기준을 만족하고 있으나 TN의 경우 수질기준을 초과하고 있다.
- 4) 하천측점에서의 오염부하량을 측정하기 위해

측점별로 L-Q 관계식을 산정하였으며, 결정계수 (R²)의 값은 TN의 경우 0.8639~0.9299, TP의 경우 0.8964~0.9232의 범위를 보였다.

- 5) 현장실측을 통해 얻어진 소유역별 일평균부하량과 원단위를 적용해 계산된 값을 비교한 결과, 발안저수지 하단에 위치한 HP#2 측정점과 기천저수지 하단에 위치한 HP#7의 경우 원단위에 의해 계산된 값이 상대적으로 크게 나타났다.

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술사업단의 연구비지원 (과제번호4-5-1)에 의해 수행되었습니다.

References

1. 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, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 42(2) : 63-70. (in Korean)
2. Choi, C. H., K. W. Han, J. Y. Cho, J. C. Chun, and S. J. Kim, 2000. Pollutant loading and changes of water quality at the Namdae-cheon watershed in Keum river districts, *Korean Journal of Environmental Agriculture* 19(1) : 26-31. (in Korean)
3. Choi, J. K., J. G. Son, and J. W. Koo, 1996. Studies on water quality of agricultural reservoirs in Chonbuk province, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 38(2) : 65-74. (in Korean)
4. 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, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 43(5) : 153-162. (in

- Korean)
5. 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, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 42(2) : 84-93. (in Korean)
 6. Hong, S. G., and S. K. Kwun, 2001. Relationship between rural watershed characteristics and stream water quality, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 43(3) : 56-65. (in Korean)
 7. Jeong, S. M., K. H. Lim and J. H. Choi, 2000. An analysis on the Relationship between discharge and pollution load on the tributary basin of Kum river, *Journal of Korea Water Resources Association* 33(5) : 527-536. (in Korean)
 8. National Institute of Environmental Research, 2002. Technical guide for total maximum daily load in water system.
 9. Lee, Y. S. and B. S. Kang, 2000. Characteristics of pollutant load from a dam reservoir watershed - Case study on Seomjinkang dam reservoir, *Journal of Korea Water Resources Association* 33(6) : 757-764. (in Korean)
 10. Novotny, V. and Olem, H., 1994. WATER QUALITY Prevention, Identification, and Management of Diffuse Pollution, Van Nostrand Reinhold.
 11. 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, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 44(2) : 136-147. (in Korean)
 12. Park, S. W., S. H. Yoo and M. S. Kang, 1997. Nonpoint source pollution loadings from land uses at small watersheds. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 39(3) : 115-127. (in Korean)
 13. Seo, C. S., S. W. Park, S. J. Im, K. S. Yoon, S. M. Kim and M. S. Kang, 2002. Development of CREAMS-PADDY model for simulating pollutants from irrigated paddies, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 44(3) : 146-156. (in Korean)
 14. Yang, H. M., H. Kim, 2001. Calculation of pollutant loadings from stream watershed using digital elevation model and pollutant load unit factors, *Journal of Korean Institute of Landscape Architecture* 29(1) : 22-31. (in Korean)
 15. Yoon, K. S., S. M. Choi, H. M. Yang, K. H. Han, and K. S. Han, 2001. Prediction of the pollutant loading into estuary lake according to non-cultivation and cultivation conditions of reclaimed tidal land, *Journal of Korean Society of Rural Planning* 7(2) : 27-36. (in Korean)