

유역의 토지이용과 오염원 현황이 수질특성에 미치는 영향 분석

정광욱 · 윤춘경* · 장재호 · 김형철

(건국대학교 환경과학과)

Analysis of Land Use and Pollutant Source Effect on Water Quality Characteristics of the Watershed. Jung, Kwang-Wook, Chun-Gyeong Yoon*, Jae-Ho Jang and Hyung-Chul Kim (Department of Environmental Science, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea)

The influence of land use and pollutant source on water quality was investigated using 3-yrs monitoring data of major influent stream in Hwaong reservoir watershed. The seven water quality station (N1, N2, J1, J3, J4, E2, E3) were used analysis of land use and pollutant effect, and six water quality station (N3, N4, J2, J5, E1, E4) were used analysis of waster quality status. Water quality parameter were positively correlated with residential and forest, negatively with paddy and upland especially during dry period. During wet period, correlation between land use and water quality was less apparent. Population and livestock density was correlated well to water quality parameter than just number of population and livestock. The watersheds studied are mainly non-urban and their land uses are similar to typical watershed of other estuarine reservoirs, therefore, the correlation developed in this study might be helpful to manage other estuarine reservoir watersheds.

Key words : land use, pollutant source, correlation, water quality management

서 론

인구 증가, 산업발달 및 도시화의 결과로 유역에서 다량의 오염물질이 발생하여 수계로 유입되고 있으며, 이로 인한 하천 및 호소 수질오염은 국가적인 사안이 되고 있다. 기존의 오염원 관리는 방류수 수질기준 규제에 의한 점오염원 배출 저감에 주력하였고, 그동안 수질개선에 많은 기여를 해 온 것은 사실이다. 비점원오염을 포함한 오염부하량의 양적 증가와 집중화로 인해 환경용량을 초과한 오염물질이 수계에 유입되어 호소나 하천의 부영양화가 심화되고 있다.

유역내의 효과적인 토지이용과 오염원관리는 건전한 하천생태를 유지하기 위해 반드시 필요하다. 특히 하구

담수호와 같이 유역말단에 위치한 지형적인 특징으로 많은 양의 오염물질이 유입되는 호수는 오염원관리에 더 많은 노력이 필요하게 된다. 우리나라 하구 담수호 유역은 대부분 주거지역을 포함하는 전형적인 비도시 유역의 형태를 보이기 때문에 토지이용과 오염원의 분포 등 유역전반에 대한 이해가 필요하다. 본 연구의 대상지역인 화옹유역은 수질이 양호한 상류부에서 비도시 시가지역을 거치면서 급격하게 수질이 악화되는 특징을 갖고 있다. 이는 비도시 시가지역의 정화조 유출이나 처리되지 않고 유입되는 불명수에 의해 하천수질이 오염된다고 판단할 수 있다.

유역말단 지역은 하수처리장 방류수, 정화조유출, 불명수의 유입, 축산, 그리고 농경지의 비점오염 등 오염부하량이 축적되어 하천의 수질문제를 발생시키고 있으며, 하

*Corresponding author: Tel: (02) 450-3747, Fax: (02) 446-2543, E-mail: chunyoona@konkuk.ac.kr

구 담수호로 유입되어 호수 수질에 악영향을 미치고 있다 (Donoso *et al.*, 1999). 유역에서 발생하는 오염을 평가하기 위해서는 복잡한 데이터와 분석도구가 필요하기 때문에 적절한 평가를 위해서는 많은 시간과 노력이 필요하다. 하천의 수질에 영향을 주는 토지이용의 평가는 오염원의 배출시간과 배출공간에 따라 독립적으로 변화하는 특징을 갖고 있다 (Allan *et al.*, 1997; Townsend *et al.*, 2003).

최근 우리나라는 오염총량제의 도입으로 전국에 걸쳐 인구, 축산, 산업, 토지, 양식, 매립장, 하수처리장 등 방대한 자료를 축적하여 행정구역 단위별로 발생하는 배출부하량을 산정하는데 이용하고 있으나, 계산과정이 복잡하고 많은 시간이 필요하기 때문에 신속한 유역 평가에는 아직 개선할 부분이 남아있는 상태이다. 비도시 유역은 오염물질의 배출구조가 비교적 단순하기 때문에 수집된 기본 오염원자료만으로도 오염원에 대한 평가가 어느 정도 가능할 것으로 추정된다. 투수면적비율이 큰 비도시 유역, 특히 시비가 이루어지는 농경지와 축산을 사육하는 축산지역이 많은 유역의 경우 질소와 인, 유기물질 등이 토양에 축적되어 수계로 유입될 때 이들 사이에 일정한 상관성을 갖고 수계로 유입될 것으로 추정되며, 토지이용

과 오염원자료는 수질항목과 일정한 관계를 나타낼 것으로 판단된다.

본 연구에서는 화옹유역의 13개 수질측정지점에서 측정된 강우시와 비강우시의 하천수질 데이터, 이용하여 토지이용과 오염원자료가 하천수질에 미치는 영향에 대해 통계적으로 분석하였으며 본 연구지역과 유사한 비도시 유역관리에 응용할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

재료 및 방법

1. 대상지역

대상지역은 화옹간척지구의 유역으로 동경 126°45' ~ 126°55', 북위 37°10' ~ 37°15'에 위치하고 있으며, Fig. 1에서 보는 것과 같이 담수호로 유입되는 하천이 여러 개인 특징을 갖고 있다. 담수호로 유입되는 주요하천인 남양천 유역의 4개, 자안천 유역에 5개, 그리고 어은천 지점의 4개 지점의 수질을 분석하였다. 소유역의 구분은 수치고도자료와 GIS 기법을 이용하여 주요 수질측정지점과 오염원을 고려하여 분할하였다.

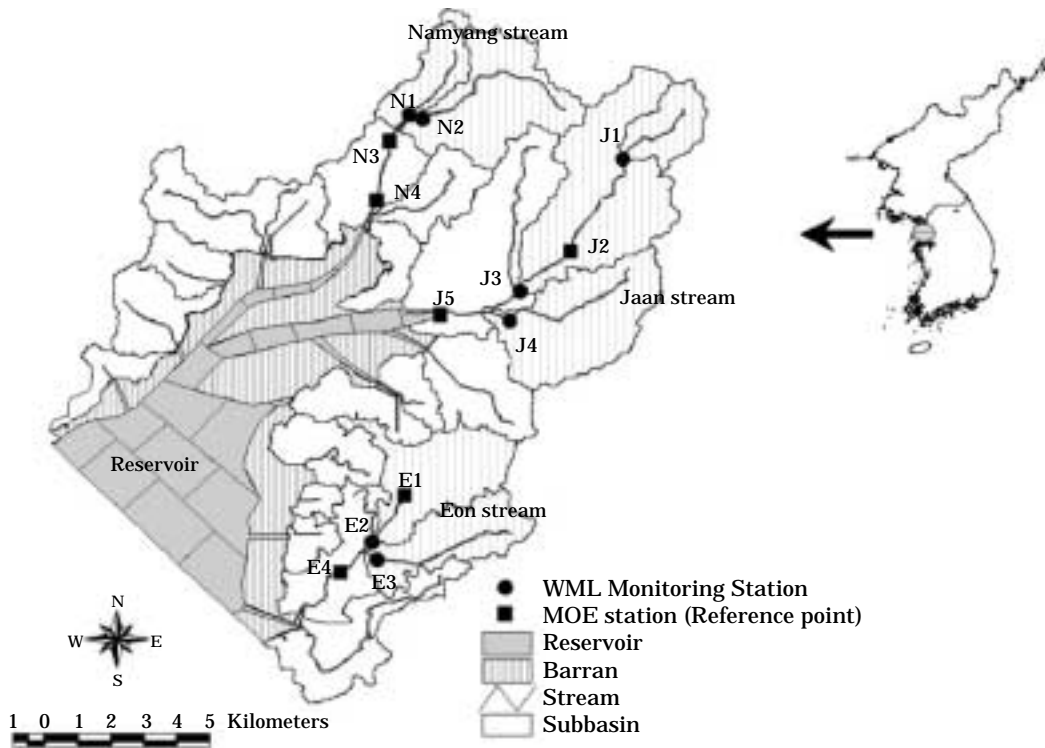


Fig. 1. Study area and monitoring stations in watershed of Hwaong reservoir (WML: Watershed Management Lab.; MOE: Ministry of Environment).

2. 샘플채취 및 수질 분석 방법

시료채취지점은 화옹담수호로 유입되는 주요 3개 하천인 남양천, 자안천, 어은천에서 이루어졌으며, 남양천은 4개 지점에서, 자안천은 5개 지점에서, 어은천은 4개 지점에서 측정되었다. 측정지점 중 건국대학교 유역환경관리연구실에서 측정된 자료는 N1, N2, J1, J3, J4, E2, E3의 7개 지점이며, N3, N4, J2, J5, E1, E4의 6개 지점은 환경부 한강유역환경청의 데이터를 이용하였다. N1, N2, J1, J3, J4, E2, E3 지점의 측정 기간은 2003년 11월부터 2005년 7월까지이며, N3, N4, J2, J5, E1, E4 지점의 2002년 5월부터 2005년 7월까지 자료를 이용하였다. 비강우시는 약 2주 간격으로 측정하였으며 총 데이터 수는 150~155개이었다. 강우시는 약 2~4시간 간격으로 N1, N2, J1, E2, E3 지점에서 실시하였고 총 데이터 수는 135~153개, 환경부 자료는 1개월에 1회 비강우시를 기준으로 측정되었고 총 데이터 수는 223개였다. 수질분석항목은 SS, COD, BOD₅, 질소계 (TN, NO₃-N, NO₂-N, NH₃-N), 인

계 (TP, PO₄-P), 그리고 지표성 미생물 (Total coliform, Fecal coliform, *E. coli*)을 분석하였으며, 분석방법은 Table 1과 같다.

3. 상관분석

수집된 자료는 통계용 프로그램인 SPSS (Ver. 12)를 이용하여 상관분석이 이루어졌다. 상관분석은 두 변수 사이의 관계의 정도를 측정하고 표현하려는 분석이다. 상관분석은 상관계수 (r)은 두 변수간의 상관관계의 강도를 나타내는 지표이며, -1에서 +1사이의 값을 갖는다. 음의 값의 경우는 둘 사이의 관계가 반대로 변하는 특성이 있음을 의미하며 양의 값은 비례하여 증가하는 경향을 나타낸다. r-값이 유의수준 1% 내에 있으면 높은 상관관계가 있다는 것을 의미하고, 유의수준 5% 내에 있으면 보통의 상관관계를 인정하며, 5%보다 클 경우는 상관관계가 성립되지 않는다고 판단하였다.

결과 및 고찰

1. 화옹유역의 토지이용과 수질 현황

분석에 사용된 수치고도자료와 토지이용도는 1999년에 구축된 환경부에서 제공받은 1:25,000도를 이용하여 분석하였으며 Table 2와 같다. 화옹유역 전체의 토지이용은 농경지와 산림이 전체의 85% 이상을 차지하는 전형적인 비도시 유역의 특성을 나타내었다. N1, N2, E3 지점이 위치한 유역은 도시화가 진행된 지역으로 작은 면적의 주거지역에 대부분의 인구와 경제활동이 밀집된 특징을 갖고 있다. 지점 J1의 경우는 97% 이상이 농경지와 산림으로 이루어진 지역으로 유역의 상류에 위치하고 있다. 지점 J3, J4, E2의 유역은 10% 내외의 주거지역의 토지이용을 보이지만 넓은 지역에 분포하였으며 산업체들이 주를 이루고 있다. 남양천 유역은 산림과 농경지가 각

Table 1. Analysis methods of water quality.

Items	WML ^a	MOE ^b
DO	SM ^c 4500-C	SM 4500-G
BOD ₅	SM 5210-B	SM 5210-B
SS	SM 2540-D	SM 2540-D
COD	SM 5220-D	KSM ^d (KMnO ₄)
TN	SM 4500-B	SM 4500-B
NH ₃ -N	SM 4500-F	SM 4500-F
NO ₃ -N	SM 4500-B	SM 4500-B
PO ₄ -P	SM 4500-D	SM 4500-E
TP	SM 4500-D	SM 4500-E
Total coliform	SM 9221-B	SM 9222-B
Fecal coliform	SM 9221-E	SM 9222-D
<i>E. coli</i>	SM 9221-F	-

^a: Watershed Management Lab.

^b: Ministry of Environment.

^c: Standard Methods (APHA, 1998).

^d: Korean Standard Methods (Donghwa, 2002).

Table 2. Land use classification of watershed of Hwaong reservoir.

Subbasins	Residential		Paddy		Upland		Forest		Etc.		Total area (ha)
	Area (ha)	%	Area (ha)	%	Area (ha)	%	Area (ha)	%	Area (ha)	%	
N1	40.7	9.3	112.7	25.8	90.1	20.7	191.5	43.9	1.3	0.3	436.2
N2	124.6	10.1	181.7	14.8	257.0	20.9	631.2	51.4	34.1	2.8	1228.6
J1	7.4	1.7	175.6	41.0	17.6	4.1	225.6	52.7	1.9	0.4	428.1
J3	205.3	11.8	599.9	34.4	192.8	11.1	666.2	38.2	77.5	4.5	1741.7
J4	85.9	6.4	535.3	40.1	253.8	19.0	344.4	25.8	116.7	8.7	1336.1
E2	112.2	10.9	366.7	35.5	308.5	29.9	187.5	18.2	57.3	5.6	1032.2
E3	146.1	19.1	281.2	36.7	112.5	14.7	226.3	29.5	0.1	0.0	766.1

Table 3. Population and number of major livestock in watershed of Hwaong reservoir.

Subbasins	Population		Dairy cattle		Beef cattle		Pig		Total livestock	
	PP	PP/A	DC	DC/A	BC	BC/A	Pig	Pig/A	TL	TL/A
N1	2,461	5.64	326	0.75	170	0.39	1,769	4.05	2,265	5.19
N2	7,039	5.73	2,293	1.87	1,155	0.94	13,035	10.61	16,483	13.42
J1	1,446	3.38	1,013	2.37	413	0.96	611	1.43	2,037	4.76
J3	3,975	2.28	1,161	0.67	473	0.27	5,159	2.96	6,793	3.90
J4	3,705	2.77	1,898	1.42	355	0.27	13,517	10.12	15,771	11.80
E2	2,652	2.57	1,701	1.65	458	0.44	2,445	2.37	4,604	4.46
E3	9,031	11.79	1,205	1.57	543	0.71	3,817	4.98	5,565	7.26

PP: Population; DC: Dairy cattle; BC: Beef cattle; TL (Total Livestock): DC+BC+Pig; A: area (ha).

각 40% 이상을 차지하고 있으며, 주거지역은 8%로 면적은 작으나 많은 인구가 밀집해 거주하고 있다. 자안천 유역의 경우는 농경지가 약 50%이며 산림지역이 약 30%를 차지하고 있고, 어은천 유역은 농경지가 60% 이상을 차지하고 있으며 산림은 20% 미만이다. 대상지역의 총 유역면적은 16,489.5 ha이고 화용담수호의 면적은 약 1,730.8 ha이며, 평균수심이 2.8 m이고 평균 수리학적 체류시간은 250일이다.

Table 3은 2003년 환경부의 오염원 조사결과를 이용하여 대상 유역의 인구와 주요 축산의 사육두수단위면적(ha) 당 밀도를 나타내었다. 총 인구는 E3, N2, J3, N1, E2, J1의 순서로 많았으며, 단위면적당 인구수는 E3, N2, N1 순이다. 축산의 경우에는 N2, J4, J3의 순이며, 단위면적당 밀도는 N2, J4, E3의 순으로 나타났다.

비강우시 주요 수질 항목의 분석결과를 Fig. 2와 같이 box plot으로 표현하였으며, Table 4에는 수질성과를 나타내었다. Box plot은 분포의 대칭성, 자료의 중심위치, 산포의 정도, 분포 상하부분의 집중정도, 이상점 등을 파악할 수 있는 장점을 가진 표현방식이며, 상자의 가장자리는 자료를 순서대로 늘어놓았을 때 5, 25, 50, 75%, 그리고 95%와 그 범위를 벗어난 이상값을 확인할 수 있는 장점을 갖고 있다. 남양천의 경우에는 인구밀도가 높은 N1 지점이 오염이 가장 심하게 나타났으며, N2 지점과 합류하여 하류인 N3와 N4 지점으로 갈수록 수질이 개선되었으나 다른 하천에 비해 나쁜 수준이었다. 자안천은 남양천과 어은천에 비해 상대적으로 오염도가 낮았으며 상하류의 수질변화가 크지 않은 것으로 평가되었다. 어은천은 조암저수지에서 발원한 물이 많은 오염부하량을 배출하는 조암읍을 통과하여 E3 지점에서 수질이 악화되는 특징을 갖고 있다.

각 측정지점의 수질을 토지이용별로 평가하면 N1과 E3 지점이 오염된 하천수질을 나타내었는데, 두 지역은 인구가 밀집되어 있는 지역으로 높은 FC와 NH₃-N의 농

도가 측정되었고, NO₃-N의 농도가 낮은 상태였기 때문에 처리되지 않은 오염물질이 하천으로 직접 유입되는 특징을 갖는 유역이다. 지점 J1은 유역의 상류에 위치하고 있어 상대적으로 좋은 수질을 유지하고 있다. 지점 J4와 E2의 경우에는 하천주변에 많은 수초가 자라는 하천으로 측정지점 상류의 농업용 저수지로 물을 저장하기 때문에 넓은 하천에 비해 수량이 적은 하천이다. 지점 J3는 FC와 NH₃-N의 농도가 약간 높게 측정되었으나, 수초대에 의한 자정작용으로 BOD₅와 SS의 농도는 낮은 수준이나 TN과 TP는 높은 수준이었다. 지점 E1과 E2는 상류 저수지의 방류량에 직접적인 영향을 받는 하천으로 주변 토지이용이 대부분 논이다.

화용담수호에 유입되는 큰 하천인 남양천, 자안천, 어은천중 남양천의 N1과 N2 지점, 그리고 어은천의 E3 지점이 수질관리상 중요한 지점으로 특별히 관리가 필요한 것으로 나타났다. 현재 N1과 N2의 하천수질개선을 위해 남양 하수처리장이 신설중이며, E3 지점은 수질개선을 위해 조암하수처리장이 건설 중이므로 완공 후에는 하천수질이 개선될 것으로 예상되며, 담수호로 유입되는 오염부하량도 줄어 담수호 수질관리에 도움을 줄 것으로 판단된다.

2. 수질 항목간의 상관관계분석

Table 5는 남양천의 4개 지점, 자안천의 5개 지점, 그리고 어은천의 4개 지점의 총 221~233개 데이터를 이용하여 비강우기에 수질간의 Pearson 상관계수를 구하였다. 강우기는 남양천의 2개 지점, 자안천의 1개 지점, 그리고 어은천의 2개 지점의 총 135~155개의 데이터를 이용하였다.

비강우시 상관관계는 BOD₅가 NO₃-N을 제외하고 모든 항목과 양의 상관관계를 가지며 유의수준 1%에 있었다. 이는 BOD₅가 수질오염의 지표항목으로 가치가 있으

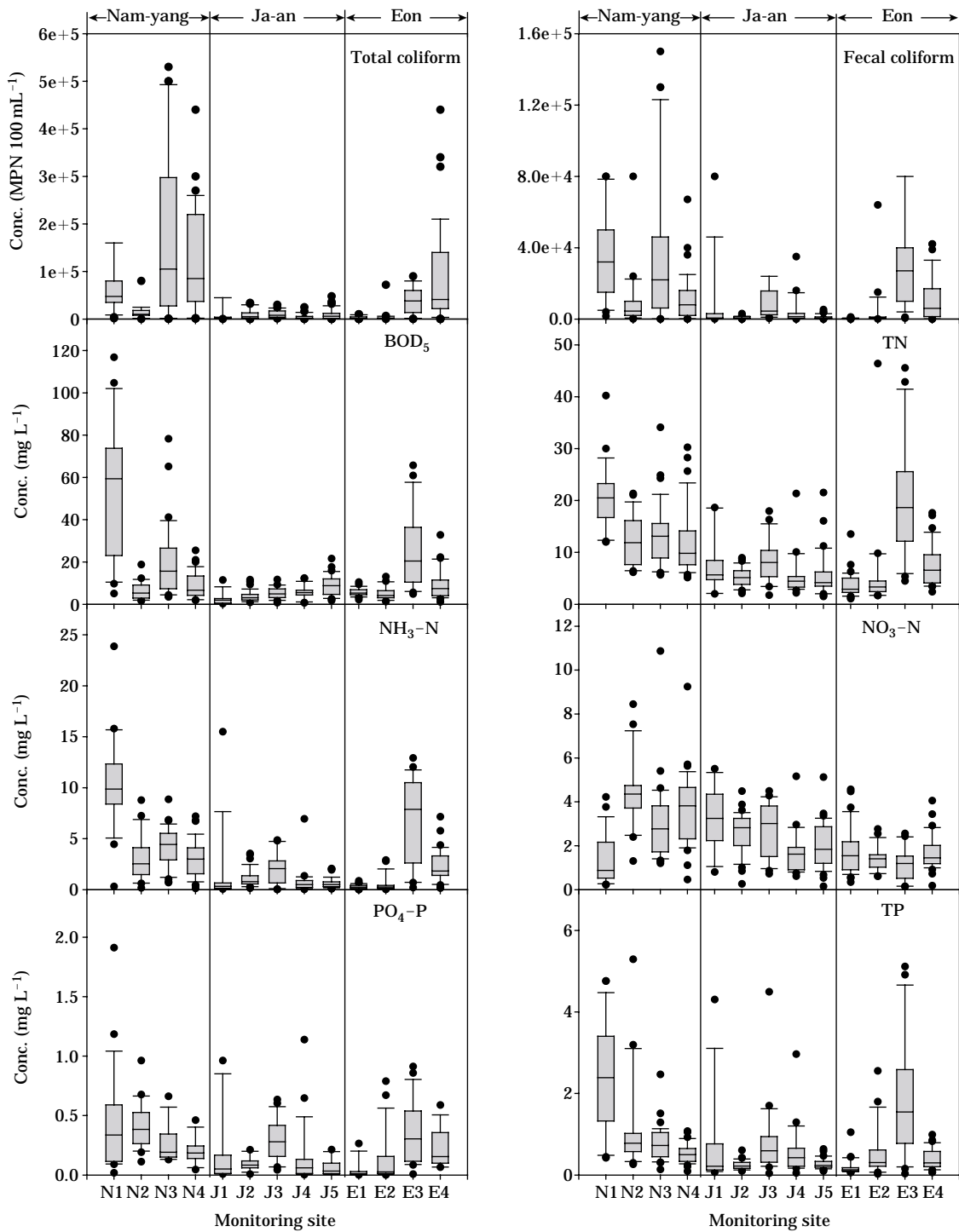


Fig. 2. Box plot of major water quality parameters in watershed of Hwaong reservoir.

며, 다른 오염물질의 거동과 유사하다는 것을 알 수 있다. $\text{NH}_3\text{-N}$ 의 경우에도 $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 *E. coli*를 제외하고 모든 항목에서 양의 상관관계를 가지며 유의수준 1%에 있

었다. 비강우시에 0.5 이상의 상관계수를 보이는 수질항목은 BOD_5 와 COD, TN, $\text{NH}_3\text{-N}$, COD- $\text{NH}_3\text{-N}$, TN- $\text{NH}_3\text{-N}$, COD-TP, $\text{NH}_3\text{-N-TP}$, 지표미생물이었다. BOD_5 , COD,

Table 4. Physical, chemical and biological results of water samples from watershed of Hwaong reservoir.

Station	Variable	DO (mg L ⁻¹)	BOD ₅ (mg L ⁻¹)	COD (mg L ⁻¹)	TN (mg L ⁻¹)	SS (mg L ⁻¹)	NH ₃ -N (mg L ⁻¹)	NO ₃ -N (mg L ⁻¹)	TP (mg L ⁻¹)	PO ₄ -P (mg L ⁻¹)	TC	FC MPN 100mL ⁻¹	<i>E. coli</i>
N1	Median	9.9	5.3	17.0	11.9	6.0	2.5	4.4	0.78	0.38	10,000	4,500	1,500
	Min.	6.0	1.6	2.1	6.2	2.5	0.2	1.3	0.26	0.11	160	80	32
	Max.	18.4	18.8	78.8	21.3	42.5	8.8	8.5	5.29	0.96	80,000	80,000	25,000
	Mean	10.6	6.1	21.7	12.0	8.0	3.2	4.5	1.11	0.42	14,724	9,819	3,460
N2	Median	4.2	59.4	54.3	20.5	40.5	9.9	0.9	2.39	0.34	47,500	33,500	8,850
	Min.	0.8	5.0	16.8	12.0	9.0	0.3	0.2	0.42	0.02	1,600	1,600	17
	Max.	8.0	116.8	119.6	40.2	86.0	23.9	4.2	4.76	1.91	160,000	160,000	90,000
	Mean	4.4	53.6	55.9	20.7	41.6	10.3	1.4	2.40	0.41	64,573	41,470	12,862
N3	Median	5.0	15.7	13.1	13.1	18.0	4.4	2.8	0.73	0.19	23,000	115,000	-
	Min.	2.2	3.5	5.9	5.7	2.3	0.7	1.2	0.14	0.13	25	400	-
	Max.	10.3	78.3	36.9	34.1	47.0	8.9	10.9	2.47	0.66	320,000	1,100,000	-
	Mean	5.0	20.4	13.5	13.5	19.6	4.2	3.0	0.79	0.25	47,987	213,673	-
N4	Median	6.7	6.7	9.2	9.8	34.0	3.0	3.8	0.50	0.19	8,000	85,000	-
	Min.	3.1	1.9	4.3	5.1	15.3	0.1	0.5	0.09	0.05	33	830	-
	Max.	12.6	25.5	22.2	30.2	156.7	7.2	9.2	1.08	0.46	67,000	440,000	-
	Mean	7.3	9.0	10.9	12.0	39.7	3.1	3.6	0.53	0.20	11,279	120,714	-
J1	Median	11.0	4.9	16.8	8.1	18.5	2.1	3.0	0.60	0.28	8,000	4,500	1,700
	Min.	6.7	0.7	5.2	1.7	3.3	0.0	0.7	0.04	0.04	1,200	450	80
	Max.	15.1	11.7	52.1	17.9	57.1	4.9	4.5	4.49	0.64	144,000	144,000	144,000
	Mean	11.3	5.3	20.6	8.5	21.0	2.1	2.7	0.83	0.30	16,536	14,602	9,813
J2	Median	9.3	3.1	6.4	5.1	11.5	0.8	2.8	0.22	0.08	350	5,000	-
	Min.	3.1	0.9	3.0	2.1	2.4	0.1	0.3	0.10	0.01	13	150	-
	Max.	16.2	11.6	19.9	8.9	81.3	3.5	4.5	0.61	0.21	3,000	34,000	-
	Mean	8.7	3.8	7.0	5.2	16.8	1.1	2.6	0.24	0.09	682	9,830	-
J3	Median	11.3	5.5	18.5	4.5	21.5	0.5	1.6	0.42	0.06	650	506	176
	Min.	6.0	0.7	6.6	2.2	1.3	0.0	0.6	0.05	0.00	50	12	5
	Max.	18.9	12.4	65.6	21.3	63.0	6.9	5.2	2.96	1.14	72,000	64,000	12,000
	Mean	11.4	5.7	25.1	5.5	24.3	0.8	1.7	0.58	0.14	4,576	4,330	857
J4	Median	10.6	4.2	17.3	3.3	35.9	0.3	1.4	0.30	0.02	650	506	176
	Min.	4.3	1.3	3.4	1.7	6.0	0.0	0.6	0.02	0.01	50	12	5
	Max.	15.4	13.0	62.1	46.4	76.0	2.9	2.8	2.55	0.79	72,000	64,000	12,000
	Mean	10.2	5.1	21.0	5.6	35.8	0.5	1.4	0.60	0.12	4,576	4,330	857
J5	Median	9.5	8.8	9.9	4.2	37.8	0.5	1.8	0.23	0.03	500	6,000	-
	Min.	4.4	1.7	5.1	1.5	6.4	0.1	0.1	0.10	0.01	3	50	-
	Max.	19.9	21.6	21.8	21.5	92.0	2.1	5.1	0.64	0.21	5,300	48,000	-
	Mean	9.9	9.0	11.1	5.5	40.0	0.6	2.0	0.27	0.06	1,050	8,693	-
E1	Median	7.5	5.3	9.0	2.9	21.8	0.2	1.5	0.13	0.01	90	900	-
	Min.	3.1	2.2	5.8	1.1	5.3	0.0	0.3	0.06	0.00	5	67	-
	Max.	15.0	10.5	17.2	13.5	120.0	0.9	4.6	1.05	0.27	1,100	10,000	-
	Mean	7.9	5.7	9.3	3.6	27.9	0.3	1.8	0.18	0.04	176	2,804	-
E2	Median	5.5	20.5	42.1	18.6	26.0	7.9	1.2	1.55	0.30	38,000	27,000	7,200
	Min.	1.7	4.8	8.6	4.5	4.5	0.2	0.1	0.03	0.01	260	520	28
	Max.	8.0	65.7	96.1	45.5	102.0	12.9	2.6	5.11	0.91	90,000	80,000	25,000
	Mean	5.0	24.8	45.8	20.7	30.7	6.8	1.1	1.85	0.37	37,984	31,462	8,181
E3	Median	10.5	2.0	9.9	5.6	5.5	0.3	3.2	0.30	0.05	1,300	550	180
	Min.	6.5	0.2	2.3	2.0	0.5	0.1	0.8	0.07	0.00	4	5	5
	Max.	16.9	11.5	37.1	18.7	19.0	2.4	5.5	5.17	0.96	45,000	80,000	14,000
	Mean	10.9	2.7	11.7	6.7	8.1	0.5	3.3	1.01	0.17	7,744	7,504	1,333
E4	Median	6.1	7.4	10.2	6.6	20.9	1.8	1.4	0.30	0.16	6,000	41,000	-
	Min.	2.8	1.1	4.0	2.4	8.8	0.2	0.2	0.06	0.07	15	40	-
	Max.	13.8	32.8	19.3	17.6	143.0	7.1	4.1	0.99	0.59	42,000	440,000	-
	Mean	6.7	9.5	10.6	7.5	32.5	2.3	1.6	0.39	0.21	11,659	87,456	-

Table 5. Pearson correlation coefficient between water quality parameters in dry and wet Periods.

Dry period (n : 221-233)											
Parameter	BOD ₅	SS	COD	TN	NH ₃ -N	NO ₃ -N	TP	PO ₄ -P	TC	FC	<i>E. coli</i>
BOD ₅	1	0.25	0.66	0.57	0.73	-0.16	0.47	0.28	0.47	0.15	0.28
SS		1	0.24	0.05	0.15	-0.24	0.05	-0.02	0.01	0.01	0.09
COD			1	0.42	0.61	-0.22	0.52	0.27	0.31	-0.05	0.13
TN				1	0.67	0.08	0.44	0.43	0.43	0.22	0.26
NH ₃ -N					1	-0.09	0.56	0.41	0.42	0.17	0.10
NO ₃ -N						1	-0.05	0.12	-0.04	0.09	-0.03
TP							1	0.25	0.30	0.03	0.20
PO ₄ -P								1	0.21	0.01	0.10
TC									1	0.68	0.60
FC										1	0.77
<i>E. coli</i>											1
Wet period (n : 135-154)											
BOD ₅	1	0.21	-0.00	0.10	-0.00	0.06	0.32	0.16	0.16	0.09	0.07
SS		1	0.74	0.30	0.12	-0.16	0.70	<i>0.17</i>	0.70	0.34	0.31
COD			1	0.38	-0.04	-0.22	0.63	0.11	0.71	0.28	0.29
TN				1	0.39	0.12	0.21	0.22	0.35	0.43	0.43
NH ₃ -N					1	0.41	0.05	0.26	0.09	0.13	0.08
NO ₃ -N						1	-0.01	0.34	-0.04	-0.19	-0.18
TP							1	0.21	0.72	0.15	0.06
PO ₄ -P								1	0.26	0.08	0.08
TC									1	0.31	0.28
FC										1	0.79
<i>E. coli</i>											1

*Bold values are statistically significant at $p < 0.01$, italics at $p < 0.05$.

TN, TP, NH₃-N, 그리고 지표미생물은 점원오염에 직접적으로 영향을 받는 항목으로 정화조 유출, 불명수 유입, 그리고 일부 축산의 점오염원의 유입과 하천의 자정작용을 통해 분해되기에는 하천의 길이와 유량이 적은 비도시 유역의 특징이 반영된 것으로 판단된다. 일반적으로 하천이 잘 발달되고 유량이 많은 유역에서 NO₃-N은 유입된 오염물질이 미생물에 의한 자정작용으로 NH₃-N이 분해되어 높은 농도를 보이지만, 비도시 유역의 특징 때문에 NO₃-N과 다른 대부분의 수질항목에서 음의 상관관계를 나타낸 것으로 판단된다.

강우시에는 SS와 대부분 다른 수질인자간의 상관계수가 높게 나타났으며, BOD₅와 NH₃-N의 경우에는 비강우시보다 수질인자간의 상관성이 약해지거나 음의 상관관계를 보였다. SS가 강우시에 높은 상관성을 보인 이유는 비점오염원의 유입과 함께 많은 양의 토사가 유입되기 때문이다. 특히 SS와 COD, TN, TP, TC, TP와 COD, TC, TC와 COD, FC와 *E. coli* 사이에는 0.5의 상관계수를 나타내었으며, 상관계수도 약 0.6~0.7로 비강우시보다 높은 상관성을 나타내었다. Jeon *et al.* (2001)에 의하면 비도시 소유역의 주요오염물질간의 상관관계를 분석한

결과 비강우시에도 SS, COD, TN, 그리고 TP 사이에 높은 상관계수를 나타내었으며 강우시에는 더 높은 상관계수를 나타내었다고 보고하였다.

3. 토지이용과 수질항목간의 상관관계

Table 6은 N1, N2, J1, J3, E2, E3 지점의 수질자료를 대상으로 토지이용(도시, 논, 밭, 산림, 논+밭)의 점유율을 상관분석하여 Pearson 상관계수를 나타내었다. 분석은 비강우시와 강우시로 구분하여 실시하였다. 비강우시의 토지이용별 상관관계는 주거지역과는 NO₃-N의 경우를 제외하고는 양의 상관관계를 나타내었으며 PO₄-P와 *E. coli*를 제외하고는 모두 유의수준 1%이었다. 논은 모든 항목에서 음의 상관관계를 보였고 SS, NO₃-N, *E. coli*를 제외한 모든 수질항목에서 유의수준 1% 이내의 상관관계를 보였다. BOD₅와 NH₃-N과는 약 -0.60으로 높은 상관계수 값을 나타내었다. Yoon *et al.* (2003)에 의하면, 물관리가 논에 배출부하량에 큰 영향을 주며 비료를 투입하는 일정시기에 배출을 억제하면 논에서의 오염물질 부하량을 줄일 수 있다고 보고하였다.

Table 6. Pearson correlation coefficient between water quality and land use.

Parameter	Dry period (n=148-153)					Wet period (n=135-154)				
	Residential	Paddy	Upland	Forest	P+U*	Residential	Paddy	Upland	Forest	P+U
BOD ₅	0.24	-0.60	0.10	0.32	-0.47	0.34	-0.28	<i>0.20</i>	-0.04	0.19
COD	0.33	-0.38	0.10	0.12	-0.27	0.22	0.01	0.10	-0.15	0.00
SS	0.26	<i>-0.20</i>	0.31	<i>-0.19</i>	0.05	0.08	0.15	0.04	<i>-0.17</i>	-0.10
TN	0.42	-0.42	-0.04	0.27	-0.42	0.08	-0.13	<i>0.19</i>	-0.07	-0.09
NH ₃ -N	0.38	-0.61	0.02	0.37	-0.55	0.02	-0.14	0.06	0.06	0.07
NO ₃ -N	-0.30	-0.05	<i>-0.20</i>	0.34	<i>-0.20</i>	-0.22	-0.54	-0.07	0.52	<i>0.20</i>
TP	0.21	-0.36	-0.04	0.27	-0.36	-0.15	-0.47	0.02	0.37	0.09
PO ₄ -P	<i>0.19</i>	-0.29	-0.06	0.24	-0.31	<i>0.16</i>	-0.11	0.02	0.01	0.07
TC	0.26	-0.47	-0.01	0.30	-0.44	0.04	-0.03	-0.09	0.09	<i>0.19</i>
FC	0.27	-0.33	-0.05	0.22	-0.34	0.06	-0.01	-0.09	0.07	<i>0.17</i>
<i>E. coli</i>	0.15	<i>-0.20</i>	-0.07	0.15	-0.24	0.05	-0.02	-0.09	0.08	0.15

*P+U: Paddy+Upland

Bold values are statistically significant at $p < 0.01$, italics at $p < 0.05$.

연구대상지역인 화용구역은 하천수량이 부족한 지역으로 물관리가 엄격하여 논에서의 오염물질 배출이 적기 때문에 논과 하천수질과는 음의 상관관계를 나타낸 것으로 판단된다. 또한, 시가가 발달한 소유역의 경우는 적은 유량에 상대적으로 많은 오염물질이 유입되었기 때문에 양의 상관관계를 나타내었다. Griffin *et al.* (1999)은 정화조가 밀집한 지역에서는 영양물질이나 분변성 오염물질에 의해 하천수가 오염된다고 하였으며, 사질토인 경우 지하수의 오염이 하천수에 영향을 줄 수 있다고 보고하고 있다 (Paul *et al.*, 1995). David *et al.* (1995)과 Eran and David (1996)는 적절하게 차집되지 않고 유출되는 가정하수가 하천수질에 큰 영향을 미친다고 보고하였는데 본 연구대상지역과 유사한 결과로 판단된다. 밭의 경우는 BOD₅, COD, SS, NH₃-N에는 양의 상관관계를 나타내었고, 나머지는 음의 상관관계를 나타내었으나 SS와 NO₃-N을 제외하고는 유의성이 없었다. 밭의 점유율과 SS는 유의수준 1% 이내로 양의 상관관계를 나타내었는데, 밭은 많은 양의 토사를 유출시키는 특징을 갖고 있기 때문에 SS의 농도에 일부 영향을 준 것으로 판단된다. 산림의 경우에는 SS를 제외하고 모두 양의 상관관계를 보이는 것으로 평가되었는데, 산림이 하천수질에 악영향을 미친다고 평가하기 보다는 토지이용은 산림으로 구분되나 산림지역에 위치한 축산이나 기타 오염배출시설들이 위치하고 있기 때문인 것으로 판단된다.

강우시의 상관성을 분석한 결과 비강우시에 비해 상관관계의 유의성이 적은 것으로 평가되었다. BOD₅와 COD의 경우에는 유의수준 1%에서 상관성을 보였으나, 비강우시보다는 약한 상관성을 나타내었다. 비강우시에 하천의 수질은 주거지역의 처리되지 않고 직접 유입되는 오

염원에 주로 영향을 받지만, 강우시에는 논, 밭, 산림, 축산 등 비점오염이 다량 유입되어 하천수질에 영향을 주기 때문에, 비강우시에 주거지역에 영향을 받지 않은 측정지점의 수질과 큰 차이를 보이지 않기 때문이다. 논인 경우에도 강한 음의 상관관계를 나타내었으나 비점오염원의 유입으로 상관성이 약화되었으며 NO₃-N과 TP의 경우에는 오히려 높아지는 결과를 보였다. 강우시 논에서의 유출은 밭과 축산과 같은 지역과는 다르게 토사 등의 SS의 유출이 상대적으로 적기 때문에 SS와 높은 상관성을 보이는 TP와는 유의수준 1%에서 음의 상관성을 보이며, NO₃-N의 경우도 다른 토지이용보다는 NO₃-N의 유출이 적기 때문에 음의 상관성을 나타낸 것으로 판단된다. 주거지역에서는 양의 상관관계를 나타내었고, 논은 음의 상관관계를 나타내었다. 산림의 경우에는 NO₃-N과 TP와는 유의수준 1%에서 양의 상관성을 보였으며 다른 항목에서는 상관성을 보이지 않았다. Borken and Matzner (2004)와 Band *et al.* (2001)에 의하면 산림지역에서 강우시 유출되는 질소의 형태는 NO₃-N의 형태가 대부분이며 유출량과 비례하는 경향을 보였다고 보고하였으며, 본 구역에서도 산림지역에서 유출되는 NO₃-N에 영향을 받은 것으로 판단된다. TP와 높은 상관성을 보이는 이유는 강우시 산림지역에 대부분 위치한 축산에서 유출되는 비점오염에 영향을 받은 것으로 판단된다.

4. 수질항목과 인구 및 축산 사육두수의 상관관계

Table 7은 인구, 젖소, 한우, 돼지, 그리고 축산의 총합과 수질항목간의 상관분석 결과와 단위면적당 인구와 축산의 사육두수를 산정하여 상관분석한 결과를 Pearson 상관계수로 정리한 표이다.

Table 7. Pearson correlation coefficient between water quality and pollutant source.

Dry period (n=148-153)										
Parameter	PP	DC	BC	Pig	TL	PP/A	DC/A	BC/A	Pig/A	TL/A
BOD ₅	-0.01	-0.58	-0.35	-0.31	-0.36	0.35	-0.39	-0.13	-0.12	-0.18
COD	0.15	-0.38	-0.24	-0.17	-0.21	0.39	-0.30	-0.11	-0.02	-0.07
SS	-0.11	-0.32	-0.41	-0.28	-0.30	0.10	-0.33	-0.36	-0.21	-0.28
TN	0.33	-0.38	-0.05	-0.20	-0.22	0.56	-0.20	0.13	-0.03	-0.04
NH ₃ -N	0.20	-0.53	-0.19	-0.25	-0.29	0.51	-0.37	0.01	-0.05	-0.10
NO ₃ -N	0.09	0.35	0.57	0.33	0.36	-0.16	0.26	0.42	0.27	0.32
TP	0.11	-0.36	-0.12	-0.21	-0.23	0.34	-0.16	0.07	-0.07	-0.08
PO ₄ -P	0.23	-0.11	0.15	0.01	0.00	0.25	-0.12	0.14	0.08	0.07
TC	0.08	-0.47	-0.21	-0.26	-0.29	0.34	-0.32	-0.04	-0.11	-0.15
FC	0.12	-0.39	-0.18	-0.23	-0.26	0.33	-0.26	-0.03	-0.11	-0.15
<i>E. coli</i>	0.04	-0.23	-0.09	-0.12	-0.14	0.12	-0.24	-0.08	-0.09	-0.13
Wet period (n=135-154)										
BOD ₅	0.23	-0.18	-0.06	0.10	0.11	0.32	-0.49	-0.28	0.22	0.06
COD	0.13	-0.03	-0.04	-0.02	-0.02	0.16	-0.13	-0.13	0.01	-0.02
SS	0.02	0.03	-0.04	-0.08	-0.09	0.01	0.05	-0.05	-0.10	-0.07
TN	0.01	0.03	0.01	0.07	0.04	-0.02	-0.15	-0.14	0.08	0.06
NH ₃ -N	-0.02	-0.12	-0.06	0.01	0.02	0.03	-0.21	-0.12	0.06	-0.01
NO ₃ -N	0.08	0.17	0.38	0.46	0.48	-0.06	0.02	0.30	0.48	0.43
TP	0.20	0.08	0.12	0.14	0.15	0.17	-0.04	0.04	0.16	0.14
PO ₄ -P	0.08	0.20	0.35	0.41	0.42	-0.08	0.01	0.22	0.42	0.39
TC	0.05	-0.15	-0.07	-0.03	0.00	0.14	-0.12	-0.02	0.02	-0.05
FC	0.07	-0.12	-0.05	-0.02	0.01	0.15	-0.08	0.00	0.02	-0.04
<i>E. coli</i>	0.08	-0.06	0.00	0.01	0.04	0.13	-0.03	0.05	0.04	0.00

PP: Population; DC: Dairy cattle; BC: Beef cattle; TL (TotalLivestock): DC+BC+Pig; A: area (ha).

인구와 축산 사육두수와의 상관관계를 분석한 결과 인구의 경우에는 BOD₅와 SS를 제외하고는 양의 상관관계를 보였으나 Table 3의 토지이용의 주거지역보다 낮은 상관성을 보였는데, 유역면적이 고려되지 않았기 때문이다. 비강우시에 축산의 사육두수와 수질과의 상관성을 분석한 결과 질소사육두수와 유의수준 1% 내의 음의 상관관계를 보였으며, 상관계수는 낮으나 한우, 돼지, 축산전체도 유사한 결과를 보였다. 일부항목을 제외하고는 인구수와 축산의 사육두수가 수질과의 상관관계가 낮거나 음의 상관관계를 보였다.

단위면적당 인구와 수질항목간의 상관분석결과 단위면적당 인구가 높을수록 높은 상관관계를 나타내었다. 이는 밀집된 주거 지역에는 많은 오염물질이 단순히 소유역내 인구수의 영향보다는 집중적으로 발생하며 비도시 지역인 화용유역에서는 적절한 차집을 통해 처리하지 못하는 지역특성이 반영된 결과라고 판단되며, 토지이용에서 주거지역과 유사한 결과를 나타내었다. NO₃-N의 경우를 제외하고는 모두 양의 상관관계를 나타내었으며 SS와 *E. coli*를 제외하고 모두 유의수준 1%의 상관성을 나타내었다. 하지만, 축산의 경우는 사육두수만으로 평가한 것보

다 상관관계가 낮아지긴 했지만 음의 상관관계를 나타내었다. 축산이 수질에 좋은 영향을 준다고 평가하기 보다는 축산이 위치한 곳이 대부분 산지 등 하천과 멀리 떨어진 곳에 위치하기 때문에 비강우시는 하천수질에 영향을 덜 준다고 평가할 수 있다.

강우시 인구와 축산의 사육두수와 하천수질과의 상관관계를 분석한 결과 비강우시의 상관성을 갖는 음의 상관관계에서 음의 상관관계가 약해지거나 양의 상관관계 값을 나타내었는데, 이유는 강우시에 축산에서 오염물질이 유출되어 하천수질에 영향을 미친것이라 평가할 수 있다. Christensen *et al.* (2001)은 turbidity, TN, TP, 그리고 TC와는 양의 선형적인 관계가 있다고 보고하였으며, Buck *et al.* (2004)는 초지가 대부분에 두 개의 유역에서 토지이용의 비율에 따른 수질의 상관관계를 분석한 결과 초지의 점유율과 conductivity, NO₃-N, TN, TP와 유의수준 1%의 상관관계를 보였다고 보고 하였다. Rodgers *et al.* (2003)은 축산과 FC와는 직접적인 상관성을 갖는다고 평가하였다. 하지만 본 연구에서는 상관성이 없는 것으로 평가되었는데, 우리나라의 경우는 소규모 농가에서 실시하며 방목하여 기르는 형태가 아니기 때문으로 판단된다.

적 요

본 연구는 전형적인 비도시 유역인 화옹유역을 대상으로 토지이용과 인구 및 축산의 사육두수를 이용하여 수질항목과의 상관분석을 실시하였다. 화옹담수호로 유입되는 3개의 주요하천의 수질을 평가한 결과 남양천의 N1과 N2 지점과 어은천의 E3 지점이 특별한 관리가 필요한 것으로 평가되었으며, 이 지점에 설치중인 하수처리장이 완공될 경우 화옹담수호로 유입되는 하천수질개선과 담수호로 유입되는 부하량이 상당히 감소할 것으로 판단된다. 토지이용과 하천수질과의 상관성 분석결과 주거지역의 경우 양의 상관관계를 보였는데, 생활하수의 유입이 직접적인 원인인 것으로 판단되었다. 비도시 유역에서는 형성된 주거지역의 정화조의 정비와 하수처리장 신설, 하수관거 정비 등의 관리가 필요하며, 본 연구지역과 같이 하구담수호가 위치한 지역에서는 더욱 중요하고 간척지토지이용에서도 고려해야 하는 사안이다. 논인 경우에는 수질항목들과 유의성을 갖는 음의 상관관계를 나타내었는데, 논은 오염물질을 배출하는 측면보다 하천생태에 좋은 영향을 미치는 것으로 평가되었다.

인구와 수질과의 상관분석결과 낮은 상관성을 나타내었으며, 단위면적당 인구수로 분석했을 때에는 비교한 결과 높은 상관계수를 나타내었다. 따라서 인구수로 유역의 오염물질 배출을 평가하기 보다는 밀도를 고려해서 평가하는 것이 합리적이다. 축산의 경우는 단위면적당 오염원을 고려하여 평가할 경우 사육두수로 평가하는 것 보다 합리적인 결론을 보였으나 상관성은 높지 않았다.

본 연구는 토지이용과 인구와 축산 등 오염원자료를 이용하여 수질항목과의 상관성을 분석한 결과이며 비도시 유역의 오염부하특성을 이해하는데 도움을 주며, 유역특성이 유사한 지역에서는 본 연구와 유사한 방법으로 유역내 오염원 특성을 파악하여 합리적인 관리계획을 세우는데 응용할 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 농림부 농림기술개발사업의 “BASINS 및 WASP을 이용한 화옹유역과 호소의 통합수질예측시스템 개발”에 지원에 의해 이루어진 것임.

인 용 문 헌

APHA. 1998. Standard Methods for the Examination of

Water and Wastewater (19th edition.) American Public Health Association, Washington, D.C., USA.

Allan, J.D., D.L. Erickson and J. Fay. 1997. The influence of catchment land use on stream integrity across multiple spatial scale. *Freshwater Biology* **37**: 149-161.

Band, L.E., C.L. Tague, P. Groffman and K. Belt. 2001. Forest ecosystem processes at the watershed scale: hydrological and ecological controls of nitrogen export. *Hydrological Processes*. **15**: 2013-2028.

Borken, W. and E. Matzner. 2004. Nitrate leaching in forest soils: an analysis of long-term monitoring sites in Germany. *Journal of Plant Nutrient Soil Science*. **167**: 277-283.

Buck, O., D.K. Niyogi and C.R. Townsend. 2004. Scale-dependence of land use effects on water quality of streams in agricultural catchments. *Environmental Pollution* **130**: 287-299.

Christensen V.G., Rasmussen P.P. and A.C. Ziegler. 2001. Real-Time Water-quality Monitoring and Regression Analysis to Estimate Nutrient and Bacteria Concentrations in Kansas. Proceedings of the 5th International Conference on Diffuse Pollution (IAWQ).

David, B., F. Eran and G. Kevin. 1995. Characterizing the quantity and quality of domestic wastewater inflows. *Water Science and Technology* **31**(7): 13-24.

Donghwa. 2002. Korea standard methods for water pollution, waste, and soil pollution. Dong Hwa Technology Publishing Co. (in Korean).

Donoso, G., J. Cancino and A. Magri. 1999. Effects of agricultural activities on water pollution with nitrates and pesticides in the central valley of Chile. *Water Science and Technology* **39**(3): 49-60.

Eran, F. and B. David. 1996. Quantifying the inherent uncertainty in the quantity and quality of domestic wastewater. *Water Science and Technology* **33**(2): 65-78.

Griffin, D.W., C.J. Gibson III, E.K. Lipp, K. Riley, J.H. Paul and J.B. Rose. 1999. Detection of viral pathogens by reverse transcriptase PCR and of microbial indicators by standard methods in the canals of the Florida Keys. *Applied and Environmental Microbiology* **65**: 4118-4125.

Jeon, J.H., C.G. Yoon and J.H. Ham. 2001. Analysis of relationships among the pollutant concentrations in non-urban area. *Korean Journal of Limnology* **34**(3): 215-222 (in Korean).

Paul, J.H., J.B. Rose, S. Jiang, X. Zhou, P. Cochran, C. Kellogg, J.B. Kang, D. Griffin, S. Farrah and J. Lukasik. 1997. Evidence for ground water and surface marine water contamination by waste disposal wells in the

- Florida Keys. *Water Research* **31**: 1448-1454.
- Rodgers, P., C. Soulsby, C. Hunter and J. Petry. 2003. Spatial and temporal bacterial quality of a lowland agricultural stream in northeast Scotland. *The Science of the Total Environment* 314-316 (289-302).
- Townsend, C.R., S. Doledéc, R. Norris, K. Peacock, C.J. Arbuckle. 2003. The influence of scale and geography on relationships between stream community composition and landscape variables: description and prediction. *Freshwater Biology. Functional Ecology* **3**: 385-397.
- Yoon, C.G., Ham J.H. and J.H. Jean. 2003. Mass balance analysis in Korean paddy rice culture, *Paddy and Water Environment* **1**(2): 99-106.
- (Manuscript received 1 November 2005,
Revision accepted 14 February 2006)