

## 농업용저수지 유역의 토지이용과 수질항목 간의 상관관계 분석

윤춘경\* · 이새봄 · 정광욱 · 한정윤

(건국대학교 환경과학과)

**Analysis of Relationship Between Water Quality Parameters in Agricultural Irrigation Reservoirs and Land Uses of Associated Watersheds. Yoon, Chun-Gyeong\*, Sae-Bom Lee, Kwang-Wook Jung and Jung-yoon Han (Department of Environmental Science, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea)**

Monitoring data of 48 agricultural irrigation reservoirs from 1999 to 2004 was analyzed for water quality characteristics including biochemical oxygen demand (BOD<sub>5</sub>), chemical oxygen demand (COD), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), and chl-*a*. Land uses of the watersheds associated with these reservoirs were determined for residential, forest, upland, paddy and miscellaneous, and regressed against water quality characteristics. Correlation analysis showed that forest land use was negatively correlated with all the water quality characteristics implying its beneficial effects in water quality perspectives. Other land uses including residential, upland, and paddy generally illustrated positive correlation with water quality characteristics, which indicates most human activities of the watershed could degrade water quality of the receiving water bodies. Paddy land use partially contributed to the water quality degradation in contrast to the previous studies. It might be attributed to the relatively clean water quality of the study area, where even slight pollutant loading could degrade sensitively water quality. Further investigation is recommended for the effect of proximity as well as land use portions on the water quality of receiving water body.

**Key words : Agricultural irrigation reservoirs, Water quality characteristics, Land use, Correlation analysis, Nonpoint source pollution**

### 서 론

우리나라에서는 1970년대 이후 농업용저수지가 다량으로 증설되어, 농업용수의 60% 이상이 농업용저수지에서 공급받고 있다. 우리나라 저수지는 95% 이상의 크기가 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> 이하이며, 평균 수심이 10 m 이하이고 52% 이상은 50년 이상 오래되었다(한국농촌공사, 2004). 농업용저수지들은 시간이 경과할수록 유입되는 토사나 오염물

질이 증가하기 때문에 저수지의 부영양화를 유발할 가능성이 높아진다. 부영양화는 질소와 인 같은 영양 염류가 과다하게 되는 현상으로 호수가 부영양화 되면 우선 수질이 나빠지고 식물성 플랑크톤의 녹조현상으로 수중 산소의 고갈과 생물상의 단순화로 인한 생태계 파괴, 악취 발생 등의 피해가 나타난다. 저수지의 수질은 지역적인 기후, 유역 내 오염원, 지형, 그리고 호수 규모와 같은 형태적인 차이와 유입수량, 수체의 흐름, 물의 순환 등 수리수문학적 체계에 영향을 받을 수 있다(김과 황, 2004).

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

이러한 수질악화가 유역 내의 토지이용과 깊은 관계가 있다는 연구가 많이 수행되었으나 (Gburek and Folmar, 1999; Tong and Chen, 2002; Zalidis *et al.*, 2002), 대부분의 연구들은 유역 특성이 하천 수질에 미치는 영향에 대한 연구들이며 (Bolstad and Swank, 1997; 정 등, 2006) 주로 몇 개 정도만 저수지를 대상으로 연구를 수행하였다 (김과 황, 2004; Brainwood *et al.*, 2004). 유역 내의 토지이용과 하천 수질 간의 상관성은 강우에 의한 표면 유출이 하천으로 오염물질을 이동시키기 때문에 발생하는 데, Lenat and Crawford (1994)과 Fisher *et al.* (2000)은 농경지역의 토지이용이 질소와 인 등의 영양물질의 농도에 영향을 준다고 보고하였다. Tong and Chen (2002)은 주거지역과 상업지역, 그리고 농업지역의 토지이용이 질소와 인, 그리고 fecal coliform의 농도와 상관성이 있다고 발표하였으며, 김과 황 (2004)은 농업용저수지를 대상으로 유역 내 토지이용 중 논과 밭의 농경지 비율과 질소와 인의 상관성을 보인다고 보고하였다. Brainwood *et al.* (2004)은 인의 경우에는 주거지역과,  $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 초지의 토지이용과 높은 상관성을 보인다고 발표하였다.

최근 우리나라는 오염총량제의 도입으로 전국에 걸쳐 인구, 축산, 산업, 토지, 양식, 매립장, 하수처리장 등 방대한 오염원 자료를 축적하여 행정구역 단위별로 발생하는 배출부하량을 산정하는데 이용하고 있으나, 계산과정이 복잡하고 많은 시간이 필요하기 때문에 신속한 유역 평가에는 아직 개선할 여지가 남아있는 상태이다. 농촌 유역은 오염물질의 배출구조가 비교적 단순하고 주거지역이 밀집되지 않은 특성을 갖고 있기 때문에 토지이용의 특성을 통해 저수지의 수질과의 일정한 상관관계를 파악할 수 있을 것으로 판단된다. 예를 들면, 농촌 유역에서 지표유출과 토양유실 등과 함께 배출되는 비점원 (non-point source) 오염은 강우에 의해 발생할 때 집중적으로 배출되는 특징을 가지고 있어, 강우로 인한 지표면 유출이 발생하면 오염물질의 농도는 급격히 증가하여 수계에 가해지는 오염물질 부하량도 급격히 증가한다. 유역 내 면적 중 농업이 대부분을 차지하면 용존염류 (Smart *et al.*, 1998)와 영양염류 (Keeny and Deluca, 1993; Pekarova and Pekar, 1996; Turner and Rabalais, 2003)를 함유한 유출수를 배출하고, 하천 수질의 질소 (Johnson *et al.*, 1997; Smart *et al.*, 1998; Arheimer and Liden, 2000)와 인 (Arheimer and Liden, 2000), sediments (Allan *et al.*, 1997; Johnson *et al.*, 1997)에 큰 영향을 미친다고 보고되고 있다. 그리고 도시화된 유역의 면적이 많은 곳은 용존무기인에 많은 영향을 주는 것으로 발표되었는데 (Osbourne and Wiley, 1988), 이는 토지이용의 변화와 관

리만으로도 수질에 큰 영향을 미칠 수 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 아직 우리나라에서는 토지이용이 수질오염에 미치는 영향에 대한 조사 연구가 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 전국에 분포한 48개 농업용저수지의 수질자료를 이용하여 공간적 토지이용이 농업용저수지 수질에 미치는 영향에 대해 통계적으로 분석하여, 저수지 관리자나 토지이용 정책을 세우는 계획자들이 수질관리에 활용 가능한 기초자료를 제시하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구 방법

본 연구의 대상 유역은 한국농촌공사에서 운영하고 있는 수질측정망 중 주요 지구별로 조사한 48개의 농업용저수지 유역이며 (한국농촌공사, 2000), 농업용저수지의 분포는 지역별로 대구에 3, 인천, 광주, 충북 각각 1, 경기 4, 강원 2, 충남 10, 전북 4, 전남 8, 경북 10 그리고 경남 4군데로써 Fig. 1과 같다. 수질은 환경부에서 운영하는 수질측정망 자료와 1999년부터 2004년까지 한국농촌공사에서 년 2~4회 측정된 자료 중  $\text{BOD}_5$ , COD, SS, T-N, T-P, Chl- $\alpha$ 를 사용하였다.

우리나라 기후적 특성으로, 몬순 강우의 계절적 편중으

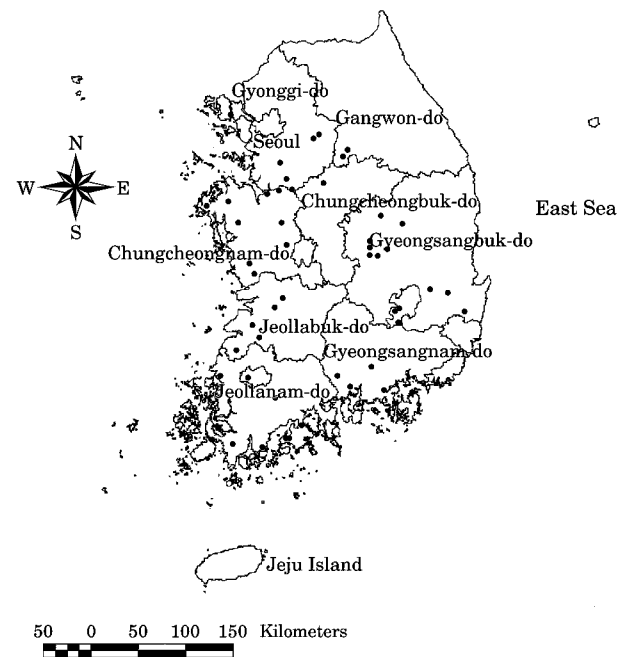


Fig. 1. Location of major agricultural reservoirs examined.

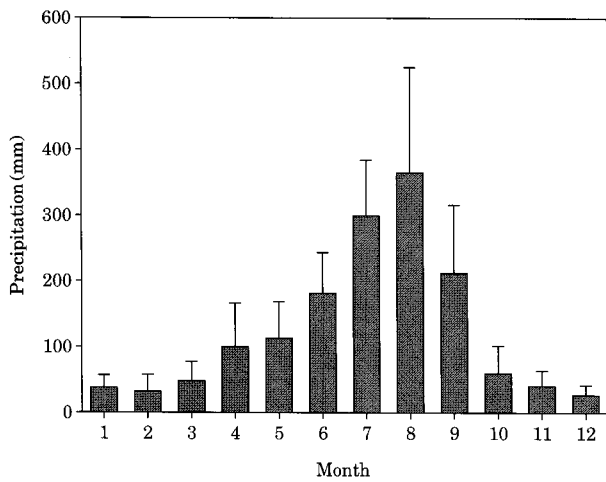


Fig. 2. Average and standard deviation of monthly precipitation from 1999 to 2004.

로 강우가 집중되는 시기인 하계에 비점오염물질이 내륙의 호소와 하천으로 직접 배출되는 양이 많아서, 이는 부영양화를 가속시키는 인위적인 요인으로 큰 비중을 차지하고 있다. 농업용저수지는 관개용수를 공급하는 시기와 집중강우로 월류되는 경우를 제외하고는 배출하지 않는 특징을 갖기 때문에, 자료를 각각 우기(4~9월)와 건기(10~3월)로 나누어 분석하였다. 6년간(1999~2004년) 우기(4~9월)와 건기(10~3월)의 강우를 월별로 나타내었고(Fig. 2), 강우량이 4월부터 증가하여 7월과 8월에 가장 높은 값을 나타내다가 10월부터 감소하는 경향을 나타낸다. 대체적으로 6년간 우기와 건기의 강우량의 차이는 뚜렷한 것으로 판단된다. Table 1은 48개 저수량, 유역면적, 만수면적, 설치년도에 대해서 요약하였다(한국농촌공사, 2000).

2. 대상 농업용저수지의 토지이용 추출

소유역의 구분은 USEPA (2001)에서 개발된 통합수질관리 프로그램인 BASINS의 수치고도모델(Digital Elevation Map, DEM)과 하천도를 이용하여 소유역으로 구분하였다(Fig. 3). DEM은 환경부에서 제공해 주는 자료를 사용하였고, BASINS에서의 DEM은 Automatic Delineation Utility를 이용한 소유역 분할 시 이용되며 유역모형 적용 시 매우 중요한 자료이다. 하천도는 수자원공사 하천정보시스템의 자료를 사용하였고, BASINS에서의 하천도는 Automatic Delineation Utility의 Burn in option을 적용할 때 사용된다. 그리고 토지이용도는 환경부 토지이용도를 사용하였는데 Landsat Thematic Mapper(TM; 30-m resolution)와 Indian Remote Sensing(IRS)-1C panchromatic images(5.8-m resolution)의 1999년 5월 21일과 2000년 2월 29일 자료를 이용하여 구축되었으며, 유역의 토지이용은 주거지역, 논, 밭, 산지, 그리고 기타(초지, 나지, 습지, 수역)로 분류하였다. 본 연구에서는 1999년과 2000년의 토지이용도를 사용하였고, 수질 자료는 1999~2004년의 자료를 이용하여 토지이용과 수질자료의 기간이 상이하냐, 대상 저수지가 위치한 유역은 대부분 전형적인 농촌유역이기 때문에, 1999년 이후의 토지이용변화는 없는 것으로 가정하여 분석하였다.

3. 상관 분석

본 연구대상 저수지 수질항목 중 BOD<sub>5</sub>와 COD, SS, T-N, T-P, Chl-*a*를 선택하여 토지이용과의 상관성 분석을 하였는데, 데이터는 1999년부터 2004년까지 측정된 데이터의 중앙값을 이용하였고 분석은 SPSS 12.0 version을 이용하였다. 상관 분석은 두 변수 사이의 관계의 정도를

Table 1. Summary of characteristics of reservoirs examined.

	Water storage		Watershed area		Surface area		Age of reservoir	
	(1,000 m <sup>3</sup> )	No.	(ha)	No.	(ha)	No.	(yr)	No.
Range	< 500	2	< 500	8	< 10	3	< 1930	2
	~ 1,000	9	~ 1,000	17	~ 20	7	~ 1940	4
	~ 2,000	27	~ 2,000	15	~ 30	11	~ 1950	9
	~ 3,000	5	~ 3,000	5	~ 40	8	~ 1960	7
	~ 4,000	3	~ 4,000	1	~ 50	5	~ 1970	11
	> 4,000	2	> 4,000	2	> 50	14	> 1970	15
Total		48		48		48		48
Minimum	202		216		5		1926	
Maximum	8,788		5,630		256		1997	
Average	1,677		1,232		44		1960	
Median	1,321		945		36		1962	

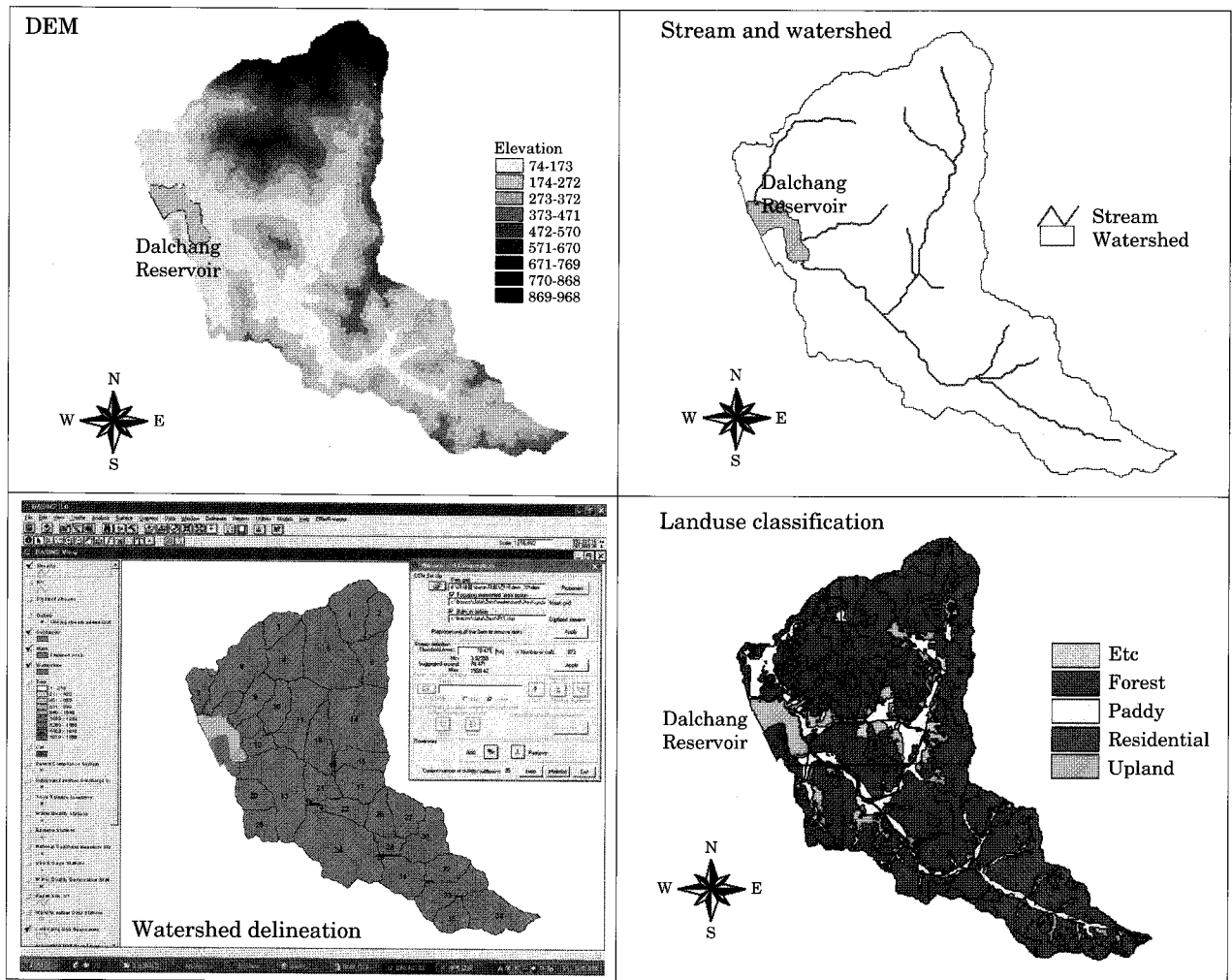


Fig. 3. Watershed delineation by BASINS tool.

측정하고 표현하려는 분석이다. 상관분석은 상관계수 ( $r$ )는 두 변수 간의 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.  $p$ -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. 저수지로 유입되는 유역의 토지이용과 수질 현황

대상 유역의 토지이용도로 주거지역, 논, 밭, 산지, 그리

고 기타로 분류한 결과는 Table 2와 같다. 48개 저수지내 유역은 대부분 산지를 차지하고 있으며, 농경지도 많은 대부분 전형적인 농촌유역 특성을 갖고 있다.

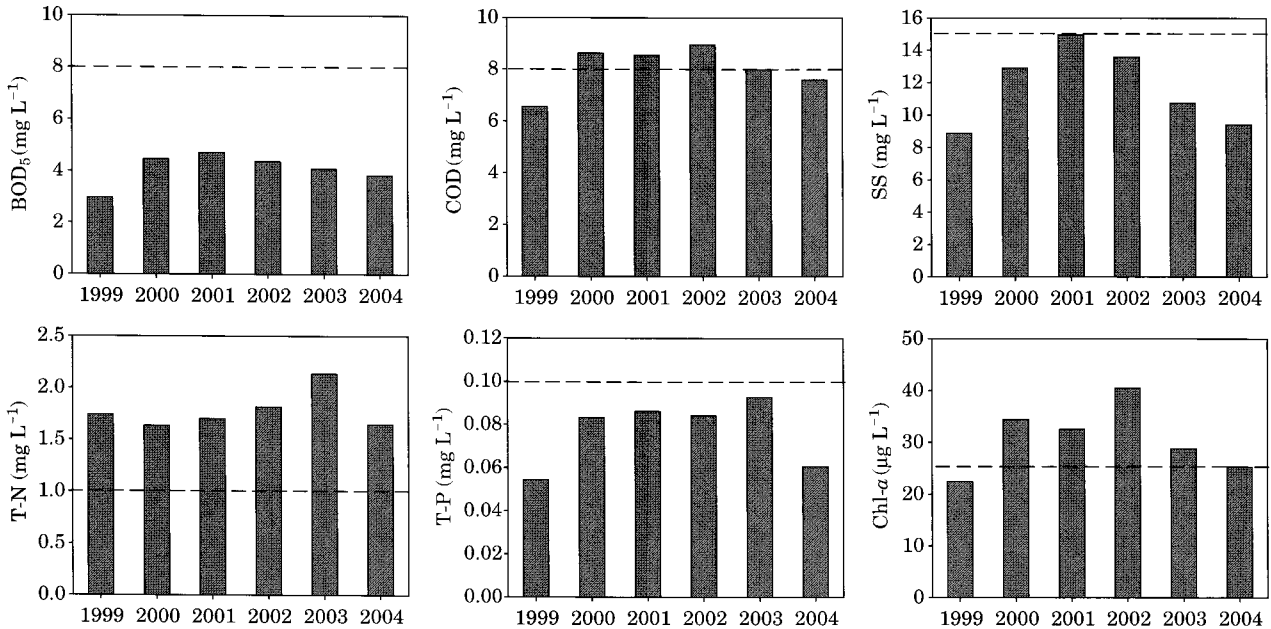
연구대상인 48개 농업용저수지의 6년간(1999~2004년) 수질항목 중 상관분석에 이용된 BOD<sub>5</sub>, COD, SS, T-N, T-P, Chl- $a$ 의 중앙값은 Table 3과 같다. 48개 저수지의 BOD<sub>5</sub> 범위는 0.7~10.1 mg L<sup>-1</sup>, 평균 4.0 mg L<sup>-1</sup>, 중앙값 3.6 mg L<sup>-1</sup>이었다. COD의 범위는 1.8~20.0 mg L<sup>-1</sup>, 평균 7.8 mg L<sup>-1</sup>, 중앙값 7.4 mg L<sup>-1</sup>로 평균과 중앙값은 COD의 호소 수질환경기준 8 mg L<sup>-1</sup> 이하이었으나, 연구대상 저수지의 44%가 수질기준을 초과하는 것으로 나타났다. SS 농도의 범위는 1.8~140.6 mg L<sup>-1</sup>, 평균 11.9 mg L<sup>-1</sup>, 중앙값 8.0 mg L<sup>-1</sup>로 평균과 대체적으로 수질기준을 만족하는 것으로 평가되었으며, 최대값을 나타내는 인천에 위치한 길상2저수지를 포함한 5개의 저수지는 기준

**Table 2.** Statistics of land use classification of 48 watershed examined.

	Residential		Paddy		Upland		Forest		Etc		Total
	Area (ha)	%	Area (ha)	%	Area (ha)	%	Area (ha)	%	Area (ha)	%	Area (ha)
Minimum	0.5	0.2	3.7	1.2	5.7	1.4	30.5	8.4	1.2	0.5	212.3
Maximum	98.7	8.97	39.6	42.4	545.0	63.2	4,298.7	94.8	299.4	13.6	5,485.8
Average	37.8	3.51	79.4	16.0	149.2	14.8	809.7	63.0	35.2	2.7	1,211.3
Median	28.6	3.41	20.6	13.8	110.1	9.9	625.6	65.7	20.1	2.4	925.6
Standard deviation	27.7	2.2	173.1	10.98	136.4	14.2	892.8	22.6	59.6	2.6	1,113.5

**Table 3.** Water quality characteristics of major 48 reservoirs examined.

	BOD <sub>5</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	COD (mg L <sup>-1</sup> )	SS (mg L <sup>-1</sup> )	T-N (mg L <sup>-1</sup> )	T-P (mg L <sup>-1</sup> )	Chl- <i>a</i> ( $\mu$ g L <sup>-1</sup> )
Minimum	0.7	1.8	1.8	0.5	0.0	3.4
Maximum	10.1	20.0	140.6	6.3	0.4	111.4
Average	4.0	7.8	11.9	1.6	0.1	25.5
Median	3.6	7.4	8.0	1.4	0.1	18.8
Standard deviation	2.05	3.25	19.61	0.97	0.07	23.28



**Fig. 4.** Water quality characteristics of major 48 reservoirs examined from 1999 to 2004.

을 초과하는 수준이었다. T-N의 호소 수질환경기준은 1 mg L<sup>-1</sup> 이하인데, 농도 범위는 0.5~6.3 mg L<sup>-1</sup>로써 평균과 중앙값 모두 기준을 초과하였고, 전체의 73%가 기준을 초과하였다. T-P의 호소 수질환경기준은 0.1 mg L<sup>-1</sup>인데, T-P의 범위는 0.0~0.4 mg L<sup>-1</sup>, 평균, 중앙값은 각각 0.1 mg L<sup>-1</sup>로 기준에 적합하였으나, 최대값을 나타내는

충청남도에 위치한 신희저수지를 포함한 4개의 저수지는 기준을 초과하였다. Chl-*a*는 호소 수질환경기준에서는 다루지 않는 항목이지만, OECD (1982)에서는 Chl-*a*의 농도가 25  $\mu$ g L<sup>-1</sup> 이상이면 부영양으로 분류하고 있다. OECD기준인 Chl-*a* 농도 25  $\mu$ g L<sup>-1</sup>를 기준으로 평가하면, 농도범위는 3.4~111.4  $\mu$ g L<sup>-1</sup>로써 전체의 33%가 기

준을 초과하는 것으로 나타났다.

연구대상 저수지 중 경상남도에 위치한 삼화저수지가 수질이 가장 양호한 수준이었고, 충청남도에 위치한 신희저수지와 전라북도에 위치한 덕림저수지가 오염물질의 농도가 높은 수준이었다. 수질이 가장 양호한 삼화저수지의 토지이용현황은 임야가 91.9%로 대부분을 점유하고 있으나, 수질이 가장 악화된 신희저수지는 유역 내 토지이용현황은 임야가 56.0%를 점유하고 농경지가 30.0%를 차지하고 있다. 덕림저수지의 토지이용현황은 농경지가 82.2%로 대부분을 차지하고 있고 임야면적은 7.3%를 차지하고 있다.

연구대상인 48개 농업용저수지의 수질항목 중 BOD<sub>5</sub>, COD, SS, T-N, T-P, Chl-*a*의 6년간(1999~2004년) 오염변화 추이 분석은 Fig. 4와 같다. BOD<sub>5</sub>와 T-P, SS 평균값은 수질기준을 만족시키고 있으나 T-N은 수질기준을 상회하는 것으로 나타났고, COD와 Chl-*a*는 2000~2003년까지 수질이 악화되었다가, 2004년에는 개선된 것으로 사료된다. Fig. 4에서 살펴보면 농업용저수지 수질은 대체적으로 개선되고 있음을 알 수 있고, T-N 같은 경우 수질기준을 지속적으로 상회하고 있는데 이 부분은 T-N 수질기준이 현실을 반영하지 못할 정도로 엄격한 것이 아닌지에 대한 분석이 필요하다고 판단된다.

## 2. 토지이용과 수질항목 간의 상관분석

주거지역, 논, 밭, 산지, 기타의 토지이용 점유율과 BOD<sub>5</sub>, COD, SS, T-N, T-P, 그리고 Chl-*a* 6개 수질항목 간의 상관분석 결과는 Pearson 분석으로 나타내었다. 우기의 상관분석 결과와 건기의 상관분석 결과는 토지이용 별로 대체로 유사하게 나타났다.

일반적으로 주거지역, 논, 그리고 밭은 저수지의 수질과 양의 상관성을 갖는 것으로 평가되었으며 산림의 경우에는 음의 상관성을 보이는 것으로 평가되었다. 수질과 양

의 상관관계를 갖는다는 것은 수질악화의 요인으로 작용한다는 의미이고, 음의 상관관계를 갖는다는 것은 수질개선의 요인으로 작용함을 의미한다고 할 수 있다. 저수지로 유입되는 유역 내의 주거지역, 논, 그리고 밭의 점유율이 클수록 수질에 좋지 않은 영향을 미치고, 유역 내 산림의 점유율이 클수록 저수지의 수질이 양호한 것으로 나타났다. 정 등(2006)은 경기도 화성유역으로 유입되는 3개의 주요 하천에서 하천 수질과 토지이용 점유율 간의 상관성을 조사한 결과 강우기와 평수기에 대부분의 수질항목에서 주거지역과 산림에는 양의 상관성( $p < 0.01$ )을 보이고 농경지와는 음의 상관성( $p < 0.01$ )을 보이는 것으로 상반된 평가를 나타냈다. 그러나, 본 연구결과는 대부분의 다른 연구결과와 유사한 경향을 나타내는 것으로 평가되었다(Lenat and Crawford, 1994; Fisher *et al.*, 2000; Tong and Chen, 2002). 또한 저수지로 유입되는 유역의 토지이용 점유율이 수질에 미치는 영향을 분석한 김과 황(2004)은 본 연구결과와 동일하게 농업지역이 증가할수록 저수지 수질이 나빠진다고 보고하고 있다.

이렇게 연구자 별로 연구결과가 상이한 이유는 분석하고자 하는 대상유역의 토지이용 점유율만이 수질에 영향을 미치는 것이 아니라, 대상유역의 유역특성 또한 수질을 결정하기 때문에 연구결과가 상이하게 나타날 수 있는 것으로 판단된다. 정 등(2006)은 화성유역을 대상으로 하천 수질과의 상관성을 평가하였는데, 대상유역이 하류에 위치하고 있으며 하천 수질이 주거지역에서 발생하는 생활하수에 의해서 크게 오염이 되어 있는 하천이기 때문에 농경지와는 음의 상관성을 보인 것으로 판단된다. 그리고 산지에 축산농가가 산재하여 축산 폐기물에 의한 오염부하가 산지를 수질항목과 양의 상관관계를 나타내도록 작용한 것으로 판단된다. 그러나, 본 연구대상인 48개의 농업용저수지의 지형학적인 위치는 대부분이 유역의 상류에 위치하고 있어서 저수지로 유입되고 있는 하천의 수질이나 저수지의 수질이 크게 오염되지 않은 상

**Table 4.** The results of correlation analysis between water quality and land use.

	The wet season					The dry season				
	Residential	Paddy	Upland	Forest	Etc	Residential	Paddy	Upland	Forest	Etc
BOD <sub>5</sub>	50.63**	0.36*	0.51**	-0.57**	0.27	0.61**	0.39**	0.56**	-0.62**	0.42**
COD	0.59**	0.39**	0.73**	-0.68**	0.02	0.40**	0.48**	0.74**	-0.72**	0.08
SS	0.57**	0.40**	0.66**	-0.65**	0.01	0.47**	0.47**	0.77**	-0.75**	0.13
T-N	0.19	0.22	0.59**	-0.48**	-0.01	0.12	0.26	0.62**	-0.50**	-0.04
T-P	0.54**	0.27	0.64**	-0.58**	0.14	0.20	0.41**	0.63**	-0.60**	0.04
Chl- <i>a</i>	0.63**	0.24	0.75**	-0.64**	0.18	0.51**	0.39**	0.70**	-0.68**	0.26

\*\* *p*-value less than 0.01

\* *p*-value less than 0.05

태이다. 따라서 하천 수질이 크게 오염되지 않은 지역에서는 농경지에서 배출되는 오염물질이 하천 수질에 영향을 주고, 하천 수질이 오염된 지역에서는 농경지에서 배출되는 오염물질의 양이 하천 수질보다 양호한 수준이기 때문에 하천 수질에 악영향을 미치지 보다는 희석하여 수질을 개선시킨다고 평가할 수 있다.

주거지역의 점유율과 수질과의 상관분석 결과는 주거지역의 점유율이 상당히 낮은 수준이었으나, 양의 상관성을 나타낸다. 주거지역에서 정화조 유출이나 처리되지 않고 유입되는 불명수에 의한 수질오염때문에 양의 상관성을 갖는 것으로 판단되어 수질에 악영향을 미치는 것으로 평가할 수 있다.

밭의 점유율과 6개의 수질항목의 상관분석 결과는 모두 유의 수준 1% 이내의 양의 상관관계를 나타내고 있다. 밭은 강우에 직접 타격을 받고, 경운으로 인해 토양 결집력이 약화되는 특징을 갖고 있으며, 대부분 밭이 산간에 발달하여 토양유실이 많다(최 등, 1995). 밭에서 많은 양의 토사가 유출되고, 논과 달리 밭이 여러 가지 작물을 연중 재배하기 때문에 시비량도 상대적으로 많다. 많은 양의 토사유출과 상대적으로 많은 시비로 공급된 질소성분이 강우와 함께 유출, 침투되므로, 상관분석 결과가 모두 유의 수준 1% 이내의 양의 상관관계를 나타낸 것으로 사료된다.

논의 경우는 밭의 경우보다는 상관성이 낮았으나 대체로 수질항목과 양의 상관성을 나타내었는데, 이것은 논에서 오염부하량이 많아서라기보다는 상대적으로 수질이 깨끗한 상태이었기 때문으로 판단된다. Yoon et al. (2003)에 의하면 불관리가 논에 배출부하량에 큰 영향을 주며 비료를 투입하는 일정시기에 배출을 억제하면 논에서의 오염물질 부하량을 줄일 수 있다고 보고하였고, 정 등 (2006)은 토지이용과 하천 수질과의 상관성 분석결과, 논인 경우에는 수질항목들과 음의 상관관계를 나타내므로, 논은 하천 수질에 좋은 영향을 미치는 것으로 보고하였다. 본 연구에서도 밭보다는 논이 저수지의 수질과 낮은 상관성을 나타내었으며, 상류에 위치한 대부분의 저수지 유역에서는 논이 오염원으로 작용하긴 하나 밭과 같은 농업지역보다는 오염배출 효과가 적을 것으로 판단된다.

산림의 경우는 일반적으로 우기와 건기 모두 음의 상관관계를 나타내고 있는데, 유의 수준 1%에서 산림이 수질에 좋은 영향을 끼친다는 것으로 판단된다. 우기 시 SS와의 상관성에서 알 수 있는 사실은 밭과는 달리 산림이 토양유실을 억제하는 효과가 있는 것으로 판단된다(Sliva and William, 2001). 많은 연구자들에 의해서 산림은 강우 유출에 의해서 발생하는 오염물질을 막아주는

역할을 한다고 보고되고 있으며(Baker, 2003; Ngoye and Machiwa, 2004), 우리나라와 같이 산지가 잘 발달된 지역에서는 그 역할이 다른 지역보다 클 것으로 판단된다.

수질항목별로 토지이용점유율과 비교 평가하면, 저수지의 BOD<sub>5</sub>, COD, SS 농도는 우기와 건기 모두 유의수준 1%에서 양의 상관성을 보였다. 수질항목과 주거지역의 상관 분석 결과는 우기 때는 T-P( $r=0.54, p<0.01$ )와 Chl-*a*( $r=0.63, p<0.01$ )의 상관성이 높게 나타났고, 건기 때는 Chl-*a*( $r=0.51, p<0.01$ )와의 상관성이 높은 것으로 나타났다. 주거지역에서 우기 때 T-P와 Chl-*a*의 상관성이 높게 나타난 것은 처리되지 않고 유입되는 불명수에 의한 수질오염으로 판단되고, 전체적인 건기의 수질과 우기의 수질 상관성 형태는 큰 차이를 보이지 않았다. 우리나라에서 주요 토지이용인 주거지역, 논, 밭, 그리고 산림 이외의 기타지역은 건기의 BOD<sub>5</sub>( $r=0.42, p<0.01$ )를 제외하고 수질과의 뚜렷한 상관성을 나타내지 않았다.

## 적 요

본 연구에서의 대상 저수지로 유입되는 유역 내의 토지이용은 산림과 농경지가 대부분인 전형적인 농촌유역 특징을 갖고 있다. 토지이용과 수질 간의 상관관계를 분석한 결과 밭에서는 모두 양의 상관관계를 나타내고 있으며, 모두 유의 수준 1% 이내의 높은 상관성을 나타내었다.

주거지역은 수질과 양의 상관성을 갖는 것으로 나타나서 수질에 악영향을 미치는 것으로 평가할 수 있다. 이는 주거지역의 정화조 유출이나 처리되지 않고 유입되는 불명수에 의한 수질오염이 원인이라고 판단할 수 있다. 본 연구대상의 48개 농업용저수지의 수질은 크게 오염되지 않은 상태이며, 주거지역의 점유율이 상당히 낮은 수준이었으나, 주거지역과 수질과는 양의 상관성이었고, 생활하수에 의한 수질오염이 심각한 상태이었다.

밭의 경우는 상관분석 결과, 건기, 우기에서 모두 유의 수준 1% 이내의 양의 상관관계를 나타내고 있어 수질에 좋은 영향을 미치는 것으로 평가되었다. 밭에서 많은 양의 토사가 유출되는데, 그 자체가 오염물질이고, 토사에 흡착된 오염물질들이 토사로 인해 이동하게 된다. 또한 밭이 여러 가지 작물을 연중 재배하기 때문에 많은 시비로 공급된 질소성분이 강우와 함께 유출, 침투되어 수질오염을 야기하는 것으로 사료되었다.

산지의 경우는 건기와 우기에서 모두 음의 상관관계를 나타내고 있으며, 모두 유의 수준 1%에서 음의 상관성을

갖는 것으로 평가되었다. 따라서 저수지로 유입되는 유역에서 산림의 비중이 높은 지역은 다른 지역에 비해서 저수지 수질을 관리하는데 유리할 것으로 나타났으며, 산림은 오염물질을 배출하는 오염원이기 보다는 수질개선에 도움을 주는 토지이용으로 평가되었다.

본 연구에서 논의 경우도 저수지의 수질에 좋지 않은 영향을 주는 것으로 평가되었는데, 대상 농업용저수지가 위치 특성상 대부분 관개를 목적으로 유역의 상류에 조성되어 있기 때문에 상대적으로 깨끗한 수질에 적은 발생부하량에도 민감하게 양의 상관관계를 나타낸 것으로 판단된다. 이러한 현상은 물관리를 통해 시비하는 기간의 유출을 최소화하고, 논둑을 이용하여 오염부하량이 큰 초기 강우를 저류하는 특징을 적극 활용하는 등 논의 오염부하를 적절한 관리방법을 도입하면 농업용저수지의 수질에 유익하게 작용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 농업진흥청 농업특정연구사업의 “농업용수의 수질오염 방지기술 개발”에 지원에 의해 이루어진 것임.

## 인 용 문 헌

- 김호섭, 황순진. 2004. 육수학적 특성에 따른 국내 저수지의 부영양화 유형분석-엽록소  $a$ 와 수심을 중심으로. *육수지* **37**(2): 213-226.
- 정광욱, 윤춘경, 장재호, 김형철. 2006. 유역의 토지이용과 오염원 현황이 수질특성에 미치는 영향분석. *육수지* **39**(1): 41-51.
- 최중대, 최예환, 김기성. 1995. 방목지와 초지의 지표수 및 지하수 수질 특성. *한국수자원학회지* **28**(3): 175-186.
- 한국농촌공사. 2000. 농업용수 수질오염원조사 종합보고서 (1997~2000)
- 한국농촌공사. 2004. 농업용수 수질측정망 조사 보고서
- Allan, J.D., D.L. Erickson and J. Fay, J. 1997. The influence of catchment land use on stream integrity across multiple spatial scales. *Freshwater Biology* **37**(1): 149-161.
- Arheimer, B. and R. Liden. 2000. Nitrogen and phosphorus concentrations for agricultural catchment; influence of spatial and temporal variables. *Journal of Hydrology* **227** (1-4): 140-159.
- Bolstad P.V. and W.T. Swank. 1997. Cumulative impacts of land use on water quality in a southern Appalachian watershed. *Journal of American Water Research Association* **33**(3): 519-534.
- Baker, A. 2003. Land use and water quality. *Hydrological Process* **17**: 2499-2501.
- Brainwood, M.A., S. Burign and B. Maheshwari. 2004. Temporal variations in water quality of farm dams: impacts of land use and water sources. *Agricultural Water Management* **70**: 151-175.
- Fisher, D.S., J.L. Steiner, D.M. Endale, J.A. Stuedemann, H.H. Schomberg, A.J. Franzluebbers and S.R. Wilkinson. 2000. The relationship of land use practices to surface water quality in the Upper Oconee Watershed of Georgia. *Forest Ecology and Management* **128**: 39-48.
- Gburek, W.J. and G.J. Folmar. 1999. Flow and chemical contributions to streamflow in an upland watershed: a baseflow survey. *Journal of Hydrology* **214**: 1-18.
- Johnson, L.B., C. Richards, G.E. Host and J.W. Arthur. 1997. Landscape influences on water chemistry in mid-western stream ecosystems. *Freshwater Biology* **37**(1): 193-208.
- Keeney, D.R. and T.H. Deluca. 1993. Des-Moines River nitrate in relation to watershed agricultural practices-1945 versus 1980s. *Journal of Environmental Quality* **22**(2): 267-272.
- Lenat, D.R. and J.K. Crawford. 1994. Effects of land use on water quality and aquatic biota of three North Carolina Piedmont Streams. *Hydrobiologia* **294**(3): 185-200.
- Ngoye, E. and J.F. Machiwa. 2004. The influence of land use patterns in the Ruwu river watershed on water quality in the river system. *Physics and Chemistry of the Earth* **29**: 1161-1166.
- OECD. 1982. Eutrophication of waters. Monitoring, Assessment and Control, OECD.
- Osborne, L.L. and M.J. Wiley. 1988. Empirical relationships between land-use cover and stream water-quality in an agricultural watershed. *Journal of Environmental Management* **26**(1): 9-27.
- Pekarova, P. and J. Pekar. 1996. The impact of land use on stream water quality in Slovakia. *Journal of Hydrology* **180**(1-4): 333-350.
- Smart, R.P., C. Soulsby, C. Neal, A. Wade, M.S. Cresser, M.F. Billett, S.J. Langan, A.C. Edwards, H.P. Jarvie and R. Owen. 1998. Factors regulating the spatial and temporal distribution of solute concentrations in a major river system in NE Scotland. *The Science of the Total Environment* **221**(2-3): 93-110.
- Sliva, L. and D.D. Williams. 2001. Buffer zones versus whole catchment approaches to studying land use



- impact on river water quality. *Water Research* **35**: 3462-3472.
- Tong, S.T.Y. and W. Chen. 2002. Modeling the relationship between land and surface water quality. *Journal of Environmental Management* **66**(4): 377-393.
- Turner, R.E. and N.N. Rabalais. 2003. Linking landscape and water quality in the Mississippi River Basin for 200 years. *BioScience* **53**(6): 563-572.
- USEPA. 2001. Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources (BASINS) Version 3.0 User's Manual., EPA 823-8-01-001, office of water, Washington, DC, USA.
- Yoon, C.G., J.H. Ham and J.H. Jean. 2003. Mass balance analysis in Korea paddy rice culture. *Paddy and Water Environment* **1**(2): 99-106.
- Zalidis, G., S. Stamatiadis, W. Takavakoglou, K. Eskridge and N. Misopolinos. 2002. Impacts of agricultural practices on soil and water quality in the Mediterranean region and proposed assessment methodology. *Agriculture, Ecosystem and Environment* **88**(2): 137-146.

(Manuscript received 16 August 2006,  
Revision accepted 10 December 2006)