

## 농업용 저수지 수질과 경험적 인자들과의 관계

김호섭<sup>†</sup> · 최은미\* · 박주현 · 황하선 · 김범철\* · 공동수 · 황순진\*\*

국립환경과학원  
\*강원대학교 환경과학과  
\*\*건국대학교 환경과학과

## The Relationships Between Empirical Factors and Water Quality in Agricultural Reservoirs

Ho-Sub Kim<sup>†</sup> · Eun-Mi Choi\* · Ju-hyun Park · Ha-Sun Hwang · Bomchul Kim\* · Dong-Soo Kong · Soon-Jin Hwang\*\*

National Institute of Environmental Research

\*Department of Environmental Science, Kangwon National University

\*\*Department of Environmental Science, Konkuk University

(Received 26 March 2008, Accepted 30 April 2008)

### Abstract

This study was carried out to assay the relationships between empirical factors and water quality in 23 agricultural reservoirs. Based on the trophic state index (TSI) deviation analysis, phosphorus in type II and III was the primary limiting factor on algal growth. BOD, COD, TP and chl.a concentration in type III reservoirs showed higher concentration than those of other types, while SS and TN concentration was no noticeable difference among three types. Characteristics of type III reservoirs showed large reservoir surface and drainage area, large surface area to volume (SAV) ratio, small drainage area to reservoir area (DA/RA) ratio, relatively old age, large paddy field and upland field to drainage area ratio (Mean 17.4%) and high generation and discharge loads compared to other types of reservoirs. In type I and II reservoirs, trends of BOD, TN, TP concentration in water column, were similar to those of the discharge load of pollutants. Although type II reservoirs generally showed low phosphorus discharge loads compared to type I reservoirs, TP and chl.a concentration in water column was greater than that of type I. Characteristics of type II reservoirs showed relatively large SAV ratio and old age compared to type I reservoirs and was similar to those of type III including eutrophic reservoirs.

**keywords** : Agricultural reservoirs, Drainage area to reservoir area ratio (DA/RA), Empirical factors, Surface area to volume ratio (SAV), Trophic state index (TSI)

### 1. 서론

수질개선을 위한 정책 중의 일환으로 통합적 유역관리의 중요성이 강조되고 있으며 유역 내 도시발달과 농경지 확대에 따른 비점오염원이 증가함에 따라 유역관리정책의 패러다임이 점오염원에서 비점오염원으로 확대되고 있다(환경부, 2006). 유역에 산재해 있는 다양한 오염원으로부터 수체로 유입되는 오염물질의 양은 집수역 수질에 직접적인 영향을 주며, 유출수량은 체류시간과 희석 등 조류의 성장과 관련된 수리·수문학적 인자와 관련되어 수질에 영향을 준다. 수질과 관련된 인자들에 대한 경험적 연구에서 유역환경특성 뿐만 아니라 기후, 형태학적 특성과 수리·수문학적 특성은 수질을 결정하는 중요한 인자로 제시되고 있으며, 이러한 인자들은 다양한 하천과 호소를 대상으로 수질을 예측하고 평가하는 지표로 활용되고 있다(김좌관과 홍육희,

1992; 박주현, 2003; Carmack et al., 1979; Tabuchi et al., 1991; William et al., 1987). 수질에 대한 주요 예측지표 중 유역면적은 오염물질의 양이나 체류시간을 결정하며, 체류시간은 내부생성유기물의 양을 결정하는 중요한 인자로 고려되고 있다. 수심은 내부생성유기물원인 조류 성장에 있어 빛의 제한과 퇴적물로부터 용출된 인의 이용율을 결정하는 중요한 요소로 인식되고 있다(Kalff, 2002).

국내에서도 많은 호수를 대상으로 호수수질과 유역환경과의 관계를 규명하기 위한 연구가 시도된 바 있으며 유역 내 오염원 분포, 점오염원, 토지이용형태 및 수심 등이 부영양화 가능성을 예측하는 지표로서 활용성이 높다는 보고가 있었다(김호섭 등, 2007; 김호섭과 황순진, 2004; 윤춘경 등, 2007; 이새봄 등, 2007). 이러한 연구들은 유역환경과 수질과의 관계규명에 있어 대부분 오염물질 발생원에 국한된 반면, 다양한 유역환경과 수질특성을 가지는 수체를 대상으로 유역으로부터 수체로 배출되는 오염물질의 양을 토대로 연구된 결과는 전무한 상태이다. 유역에서 발생한 오

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
skylike@me.go.kr

염물질은 수체로 직접 유입되기도 하지만 비점오염원은 강우 시 토양층을 통해 이동하여 유입되며 오염물질별로 배출되는 특성과 인위적인 기술에 의해 제거되는 양이 다르므로 오염물질 발생량과 배출되는 양은 차이가 있을 수 있다. 따라서 유역내 발생부하량보다 배출부하량이 수질과 관련된 오염물질의 양적평가로서 더 적합할 수 있다. 배출부하량은 수체로 유입되는 오염물질의 양을 직접 측정하는 직접적인 방법과 최근 국내에서 시행되고 있는 수질오염총량관리와 같이 경험식이나 모델링을 통한 간접적인 방법이 있다(국립환경연구원, 2004). 직접적인 측정방법은 많은 시간과 노력을 요하는 반면 유역별 특성을 고려할 수 있으나 간접적인 방법은 일원화된 원단위 등의 사용으로 유역특성을 반영하기 어려운 점이 있으나 쉽고 간편하다는 장점이 있다.

본 연구는 23개 소규모 농업용 저수지를 대상으로 배출부하량을 포함한 기존의 연구에서 제시된 경험적 인자들과 수질과의 관계 분석을 통해 부영양화와 관련된 일반성을 조사하였다. 이를 위해 엽록소 *a* 농도와 인 제한 여부로 평가한 부영양화도와 영양상태를 토대로 유형을 구분하였으며 유형별 수질과 유역환경, 형태학적 특성, 수리·수문학적 특성 및 배출부하량을 비교·분석하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 대상저수지 및 조사항목

본 연구는 농업기반공사에서 운영하고 있는 수질측정망 운영 저수지 중 23개 저수지를 대상으로 하였다(Fig. 1, Table 1). 저수지의 수질, 형태학적 특성은 2003년 농업기반공사에서 조사된 자료를 활용하였다(농림부 농업기반공사, 2003). 조사 대상저수지의 형태학적 특성으로서 유효저수량(Water storage capacity, WS), 만수면적(Reservoir surface area, RA), 유역면적(Drainage area, DA), 만수면적과 유효저수량의 비(Surface area to volume ratios, SAV) 및 유역면적과 만수면적의 비(DA/RA)를 비교하였다. 평균수심은 유효저수량(WS)과 만수면적(RA)의 비로 추정하였으며, 체류시간은 전지홍 등(2002)이 국내 농업용저수지에서 DA/RA와 체류시간과의 관계를 통해 토출해 낸 계산식을 이용하여 산정하였다. 유역내 점과 비점오염원으로부터 배출되는 부하량은 수계오염총량관리기술지침에 따라 산정하였다(국립환경연구원, 2004).

### 2.2. 유형분류

엽록소 *a* 농도와 부영양화도 지수들의 상호편차분석을 통해 엽록소 *a* 농도가 낮고 영양염이 제한요인이 되지 않는 저수지(Type I), 엽록소 *a* 농도는 낮으나 영양염 제한을 경험하는 저수지(Type II) 및 엽록소 *a* 농도가 높고 영양염 제한을 경험하는 저수지(Type III)로 구분하였다. 엽록소 *a* 농도의 높고 낮음은 OECD가 제시한 연중 최대 엽록소 *a* 농도 25  $\mu\text{g/L}$ 를 기준으로 하였다(Anon, 1982). 영양염 제한여부 판단을 위한 부영양화도 지수(Trophic state index,

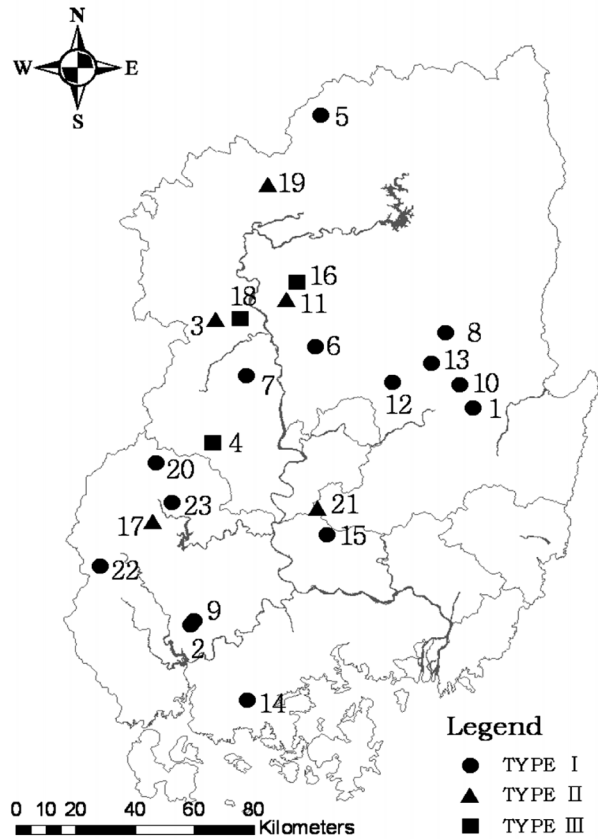


Fig. 1. Locations of 23 agricultural reservoirs used in this study.

Table 1. Water storage capacity (WS), reservoir surface area (RA) and drainage area (DA) in 23 agriculture reservoirs

No	Reservoir	WS ( $10^3 \text{ m}^3$ )	RA ( $\text{km}^2$ )	DA ( $\text{km}^2$ )
1	Gokyoung	1,314.0	0.29	16.9
2	Namsung	1,224.0	0.15	3.9
3	Mueul	1,283.0	0.31	7.5
4	Bonghak	2,051.0	0.23	17.5
5	Soonhung	2,640.0	0.24	25.5
6	Oro	1,923.0	0.32	8.3
7	Obong	4,088.0	0.49	14.6
8	Weolme	818.0	0.09	9.2
9	Eoungsuck	673.0	0.08	2.3
10	Imko	1,533.0	0.31	26.8
11	Josung	3,277.0	0.59	18.6
12	Whasan	1,643.0	0.23	9.8
13	Hwengke	818.0	0.22	18.0
14	Galchun	1,162.0	0.13	8.2
15	Gamdong	1,214.0	0.22	14.0
16	Kechun	1,187.0	0.53	13.0
17	Mesan	603.0	0.07	4.8
18	Oksung	1,898.0	0.36	11.5
19	Wounam	824.0	0.14	13.2
20	Woungyang	2,140.0	0.15	11.6
21	Weolkok	2,238.0	0.22	5.4
22	Weolpyung	536.0	0.24	7.7
23	Jisan	611.0	0.09	3.4

TSI는 Carlson(1977)이 제시한 방법에 따라 엽록소 *a* 농도와 총인(TP)의 부영양화도 지수를 산정하였고, 총 질소(TN)농도는 Kratzer와 Brezonik(1981)가 제시한 방법에 따라 계산하였다. 엽록소 *a* 농도를 토대로 산정된 부영양화도지수가 총인과 총질소로 산정된 부영양화도지수보다 큰 경우 영양염이 제한인자가 되는 것으로 판단하였다(Havens, 2000).

$$TSI(Chl.a) - TSI(TN \text{ or } TP) > 0 \quad (1)$$

: Nutrient(N, P) limiting

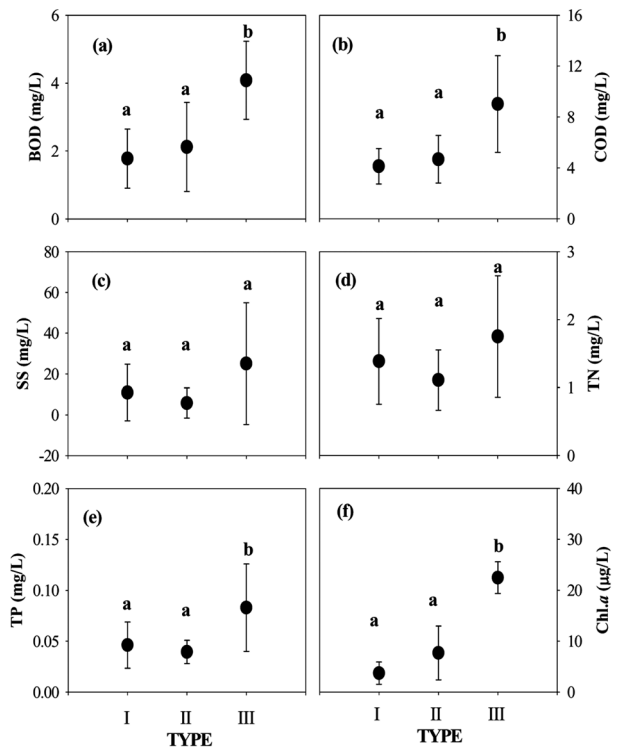
### 2.3. 통계분석

수질과 형태학적 특성 및 유역내 오염원과의 상관성 분석은 Pearson's correlation analysis를 이용하였다(SPSS 14.0). 유형간의 차이는 one-way ANOVA를 이용하여 평가하였으며, 통계적 유의수준은  $p < 0.05$ 를 기준으로 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 유형별 형태학적 특성과 수질

본 연구 대상저수지 중 엽록소 *a* 농도가 25  $\mu\text{g/L}$ 이상이나 조류성장에 있어 인이 제한 유무로 구분된 Type I과 II에는 각각 15개, 5개 저수지가 포함되었다(Fig. 1). 엽록소 *a* 농도가 25  $\mu\text{g/L}$ 이상으로써 부영양상태이며 조류 성장에 있어 인이 제한되는 Type III에는 단지 3개의 저수지가 포함되었다. 유형간의 형태학적 특성의 통계적 차이는 없었으나, Type III에 포함된 저수지는 저수용량이 크고, 수표면적과 유역면적이 비교적 넓으며 수표면적 대비 저수용량의 비(SAV)가 크고 노후된 특성이 있었다(Table 2). 이러한 Type III에 포함된 저수지들의 형태학적 특성은 분석에 사용된 저수지의 수가 적어 일반적인 특징으로 단정하기에는 무리가 있으나, 김호섭(2004)은 엽록소 *a* 농도가 25  $\mu\text{g/L}$ 를 상회하는 167개 농업용 저수지의 유역특성이 본 연구결과와 유사한 것으로 제시한 바 있다. BOD, COD, TP 및 엽록소 *a* 농도는 Type III에서 가장 높았고( $p < 0.05$ ) 다른 두 유형 간에는 차이가 없었으며( $p > 0.067$ ), SS와 TN 농도는

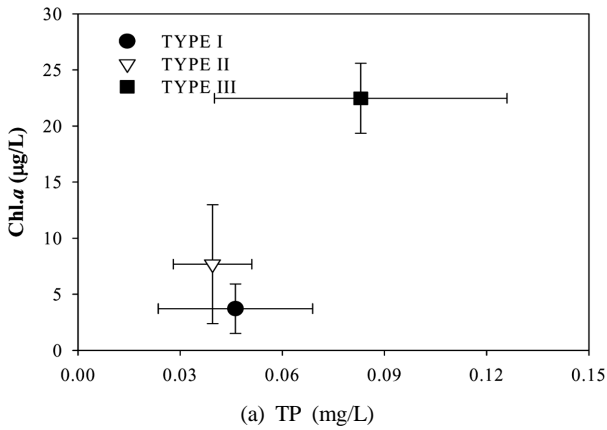


**Fig. 2.** Comparison of (a) BOD, (b) COD, (c) SS, (d) TN, (e) TP, and (f) chl.a concentration in classified three types. a and b indicate significant difference among classified types.

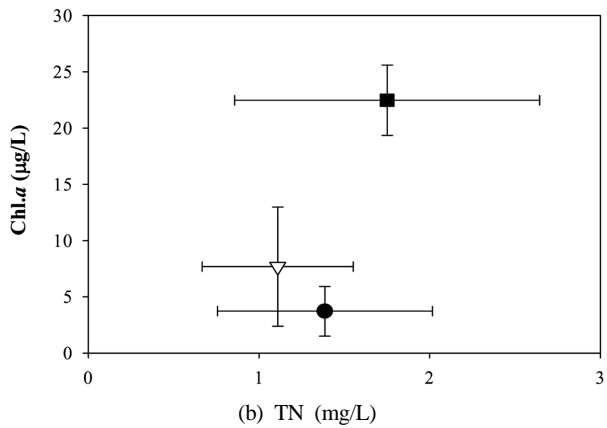
유형간의 차이가 없었다( $p > 0.072$ ; Fig. 2 and 3). TSI 편차 분석결과 조류성장에 대한 제한영양염은 인으로 TP 농도가 높을수록 엽록소 *a* 농도가 증가하였으나 상관계수는 낮았다( $r^2 = 0.28$ ,  $p = 0.01$ ,  $n = 23$ ; Fig. 4). 이는 본 연구대상 저수지에서 인이 조류 성장에 제한영양염으로 제시된 저수지가 35%에 불과하기 때문에 나타난 결과로써 인 제한을 경험하는 저수지들에서(Type II, III)의 TP 농도와 엽록소 *a* 농도 상관성은 증가하였다( $r^2 = 0.596$ ,  $p = 0.02$ ,  $n = 8$ ; Fig. 4). 엽록소 *a* 농도는 낮으나 조류성장이 인에 의해 제한되는 Type II에 포함된 저수지들의 TP, TN 및 SS 농도는 통계적인 차이는 없으나( $p > 0.072$ ), Type I과 비교할 때 다소 낮

**Table 2.** Comparison of morphometric and hydraulic characteristics in classified three types (WS: water storage, RA: reservoir surface area, DA: drainage area, SAV: surface area to volume ratio, DA/RA: drainage area to reservoir surface area ratio, Age: age of reservoir, WS/RA: water storage capacity to reservoir surface area, HRT: hydraulic residence time)

Type		WS ( $10^6 \text{ m}^3$ )	RA ( $\text{km}^2$ )	DA ( $\text{km}^2$ )	SAV ( $\text{m}^2/\text{m}^3$ )	DA/RA	Age (Year)	WS/RA (m)	HRT (Day)
I	Range	0.5~4.1	0.08~0.49	2.3~26.8	0.07~0.45	26.1~106.2	1956~1997	2.2~14.3	29~66
	Average	1.4	0.21	11.6	0.17	56.5	1981	7.3	47
	Median	1.2	0.22	9.2	0.13	58.3	1984	7.4	41
II	Range	0.6~3.3	0.07~0.59	4.8~18.6	0.08~0.24	24.2~94.4	1954~1998	4.1~12.0	31~69
	Average	1.4	0.24	10.5	0.16	62.6	1974	7.2	46
	Median	1.1	0.14	8.5	0.17	68.7	1970	5.9	38
III	Range	1.2~2.1	0.23~0.53	11.5~17.5	0.11~0.45	24.4~76.1	1946~1990	2.2~8.9	35~68
	Average	1.7	0.37	14.0	0.25	44.2	1963	5.5	54
	Median	1.9	0.36	13.0	0.19	31.9	1952	5.3	59



(a) TP (mg/L)



(b) TN (mg/L)

Fig. 3. TP, TN and Chl.a concentration in classified three types.

은 반면 BOD, COD 그리고 엽록소 a 농도는 다소 높은 수준이었다.

수리적·형태학적 지표로서 SAV와 DA/RA가 상대적으로 큰 수체는 비교적 부영양화 가능성이 높은 것으로 알려져 있다(김좌관과 홍옥희, 1992; 박주현, 2003; Kalff, 2002). SAV는 조류 성장에 영향을 주는 수층의 깊이 및 퇴적물로부터 용출된 영양염의 이용율과 관련된 지표로서 활용되고 있다. SAV가 큰 수체는 유기물 생산이 가능한 수층면적이 넓고 퇴적층으로부터 용출된 인 이용율이 상대적으로 높은 환경임을 의미한다(김좌관과 홍옥희, 1992; 박주현, 2003). 유역면적은 체류시간과 외부로부터의 오염물질 공급량을 결정하는 인자로서, 유역면적이 큰 경우 체류시간의 감소에도 불구하고 많은 오염물질이 유입되어 부영양화 가능성이 높은 반면, 유역면적이 작은 수체는 긴 체류시간을 가지나 유역 내 오염물질의 양이 상대적으로 적을 수 있으므로 조류 성장이 억제되는 것으로 알려져 있다(Kalff, 2002). 본 연구에서 다른 유형에 비해 부영양화가 심화된 Type III는 통계적인 차이는 없으나( $p>0.203$ ), SAV는 큰 반면 DA/RA비는 작았고(Table 2), 유역내 농경지(논과 밭)의 이용면적비가 평균 17.4%로 Type I(평균 8.9%)과 II(16.2%)에 포함된 저수지들보다 컸다. 국내 490개 농업용저수지를 대상으로 한 분석결과에서도 엽록소 a 농도가 높을수록 DA/RA비는 감소하는 반면 농경지 이용면적이 증가하는 특성

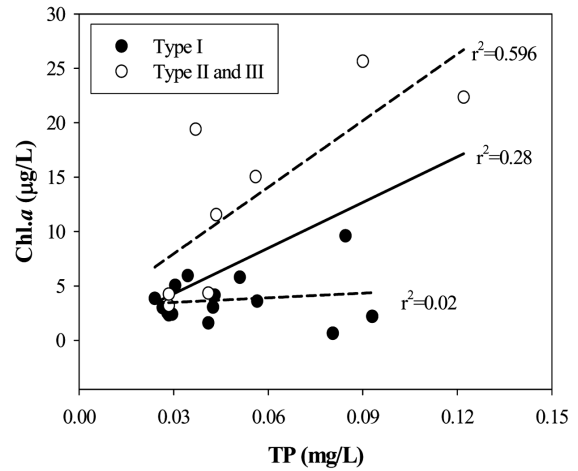
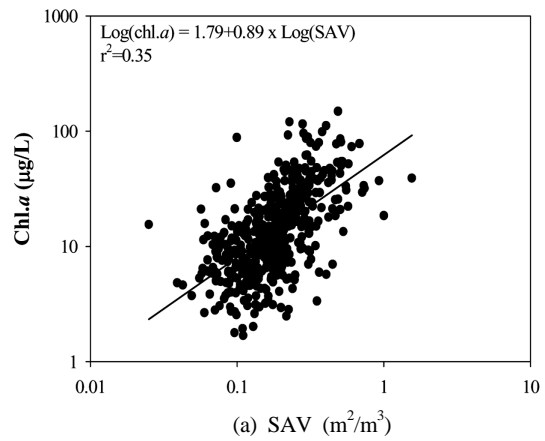
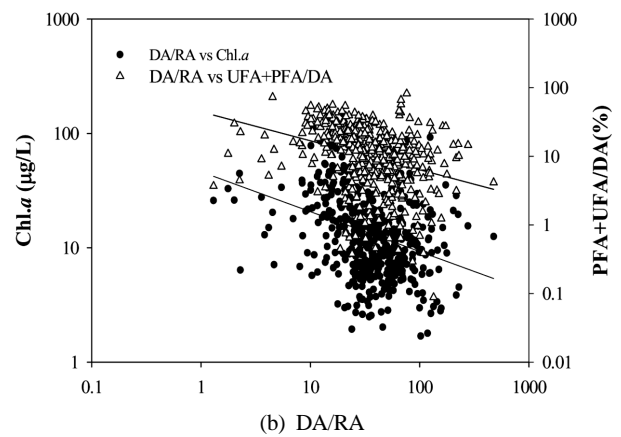


Fig. 4. Relationships between TP and Chl.a concentration in classified three types.



(a) SAV (m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>)



(b) DA/RA

Fig. 5. Relationships between (a) SAV, (b) DA/RA and Chl.a concentration in 490 agriculture reservoirs (SAV: surface area to volume ratio, DA/RA: drainage area to reservoir surface area ratio, PFA: paddy field area, UFA: upland field area).

을 보였다(Fig. 5). 김호섭 등(2007)은 유역내 논과 밭의 이용면적이 30%이상인 수체 내 TP 농도가 평균 0.1 mg/L 이상이며 논 면적이 15%이상인 경우에 TN 농도가 평균 2.6 mg/L 이상으로 유역내 농경지 면적이 높을수록 부영양

화의 잠재적 가능성이 증가함을 제시한 바 있다. 이러한 결과들은 유역내 토지이용 형태가 집수역의 수질을 결정하는 중요한 요인 중의 하나임을 시사한다.

3.2. 유역내 부하량과 수질

유형별 유역에서의 발생부하량과 배출부하량은 모두 Type III에서 가장 많았으며, Type I과 비교할 때 Type II는 발생부하량은 많으나 배출부하량이 작았다(Fig. 6). Type I의 경우 배출부하량은 발생부하량의 BOD는 54.9%, TN은 81.3%, TP는 57.4%였다. 반면, Type II의 경우 BOD, TN 및 TP가 각각 31.1%, 61.5%, 26.1%로, Type I과 비교할 때 상대적으로 유역에서 발생한 오염물질이 수체로 유입되는 과정에서 상당부분 감소됨을 의미한다. 유역으로부터 오염물질이 수체로 유입되기 전 경지, 습지 혹은 하천과 같은 완충지대를 거치면서 제거될 수 있다(Peterjohn and Correll, 1984). 본 연구에서 유역으로부터 발생한 TN 부하량 중 평균 75.4%가 배출되는 반면 TP는 발생부하량의 48.1%가 배출되는 것으로 나타나 수체로 유입과정 중 인의 제거효율이 높았다. 본 연구에서 제시된 발생 및 배출부하량이 실측자료가 아닌 원단위 등을 고려한 계산 값임을 고려할 때, 질소의 높은 발생배출비는 수계오염총량관리지침의 법적방류기준 등 방법론적인 측면에서 나타난 결과일 수 있으나, 인에 비해 질소가 많이 배출되는 것은 인은 입자와 결합된 형태로 유출되는 반면 질소는 용존형태로 유출되는 특성과 관련이 있을 수 있다(김호섭 등, 1997; Cooke and Williams, 1973; Happer, 1992). 김호섭과 황순진(2004)은 소규모 농업용저수지에서 유역으로부터 유입되는 TN이 TP에 비해 30배 정도 많으며, 대부분이 용존성 형태로 유입되고 있음을 제시한 바 있다.

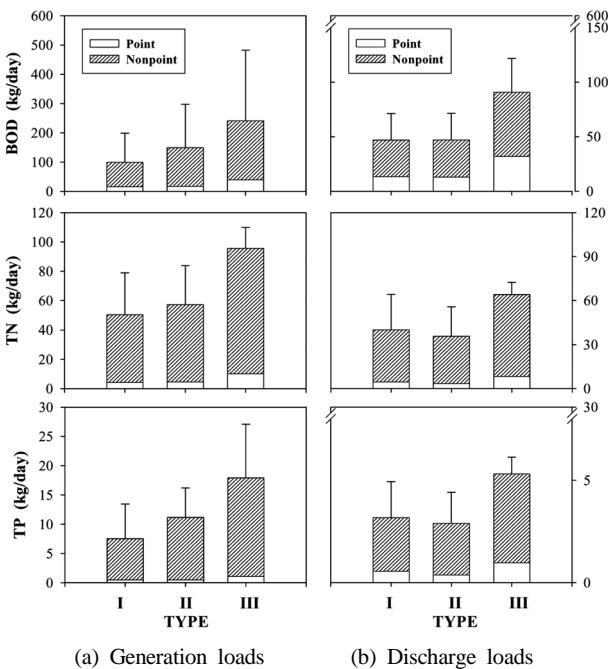


Fig. 6. Comparison of BOD, TN, TP (a) generation loads and (b) discharge loads in classified three types.

Type III에 포함된 저수지 수체내 BOD, TN 및 TP 농도는 유역 내 발생부하량 및 배출부하량과 유사한 경향을 보였으나, Type I과 II에 포함된 저수지들에서의 수질경향은 발생부하량보다 배출부하량과 유사하였다(Fig. 6). 유역으로부터 배출되는 부하량 중 점오염원 비율은 BOD, TN 및 TP가 각각 평균 29.7%, 11.3%, 16.8%로써 비점오염원에 의한 배출부하량이 상대적으로 많았다. 이는 유역 내 농경지의 면적과 저수지 수질간의 관계에서 제시된 바와 같이 농업용 저수지의 수질에 대한 유역 내 토지이용형태와 같은 비점오염원의 중요성을 제시하는 것이다(US EPA, 1974). Type III에 포함된 저수지는 상대적으로 저수지 규모에 비해 소규모 유역에서 많은 오염물질이 배출되고 있으며, 수체로 유입된 많은 오염물질이 상당시간 체류하면서 조류성장에 이용되고 있는 것으로 판단할 수 있다. 김호섭과 황순진(2004)은 조류성장에 있어 인 제한을 경험하고 있는 소규모 부영양 저수지에서 유입수와 수체내에서의 인 존재형태를 토대로, 유역으로부터 유입된 인이 조류 성장에 빠르게 이용되고 있음을 제시한 바 있다.

Type I과 II에서 수체 내 TP와 TN농도는 배출부하량 대비 저수용량비와 유사한 경향을 보였다(Fig. 7). 이는 Type II에 포함된 저수지에서 조류성장에 이용 가능한 영양염의 유입이 상대적으로 적음을 의미하는 것이다. Type II에 포함된 저수지들 Type I의 경우와 비교할 때 유역에서 조류 성장에 제한요인으로 작용하는 인 유입량이 상대적으로 적음에도 불구하고 수체내 엽록소 *a* 농도와 TP농도가 Type

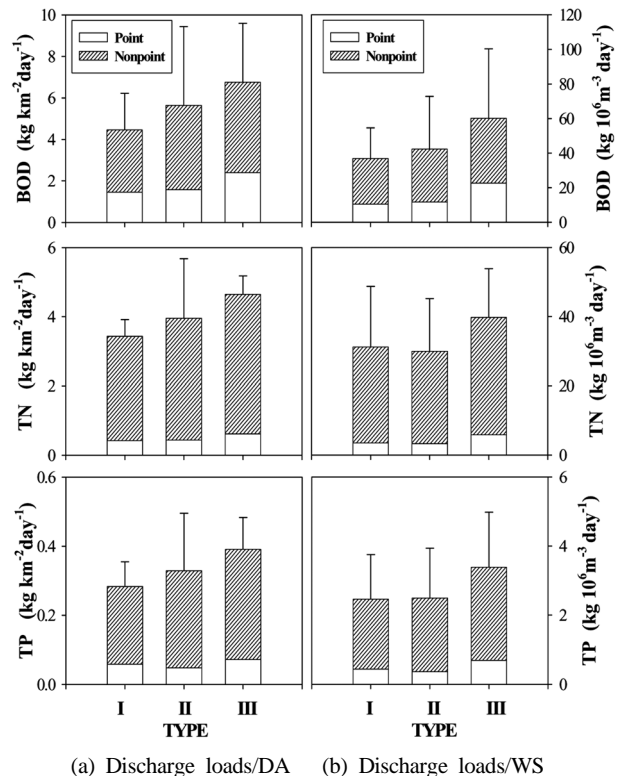


Fig. 7. Comparison of BOD, TN, TP discharge loads per (a) drainage area and (b) water storage in classified three types.

I과 비교해 높은 것은 퇴적물의 인 공급원으로서의 중요성을 나타내는 것이다(Cooke et al., 1993; Kalf, 2002; Van der Molen and Boers, 1994). Type II와 I의 평균 WS/RA 비는 각각 7.3, 7.2로써 유사하였으나, 중앙값은 각각 7.4, 5.9로 Type II에 포함된 저수지의 수심이 다소 얕았다(Table 2). 따라서 Type II에 포함된 저수지들은 상대적으로 노후되어 퇴적물 내 오염물질량이 상대적으로 많을 것으로 추정되며, 얕은 수심의 형태학적 특성상 퇴적물로부터 용출된 인이 수층으로 확산이 용이하여(Sommer et al., 1986) 조류성장에 이용됨으로써 Type I에 비해 적은 양의 인 배출부하량에도 불구하고 엽록소 *a* 농도가 높게 유지되었을 것으로 판단된다. Type I에 포함된 저수지는 저수용량대비 오염물질 유입부하량이 Type II에 비해 많으나 수심이 깊어 수층 혼합 시 빛이 없는 시기를 경험할 수 있으며, 또한 Type II에 비해 상대적으로 부유물질 농도가 높아 비조류성 물질에 의한 빛 제한 가능성도 배제할 수는 없다(Fig. 2).

수질은 물리적, 화학적, 생물학적 요인들의 상호작용에 의한 결과로써 수질과 관련된 여러 인자들을 종합적으로 검토하고 이를 토대로 수질개선을 위한 정책을 수립하는 것이 바람직하다. 본 연구에서 수질과 관련된 경험적 인자들과의 관계분석에서 제시된 결과를 토대로 할 때 Type III에 포함된 저수지들은 부영양화가 진행된 중점관리대상으로 유역 내 배출부하량 감소와 병행하여 수심을 증가시키는 관리대책 마련이 필요할 것으로 판단된다. Type II에 포함된 저수지들은 부영양화 가능성이 잠재되어 사전예방이 필요한 관리대상으로 배출부하량 감소 혹은 수심증가 등의 관리대책이 필요가 있을 것으로 판단된다. 유역관리방안으로는 농경지내 시비량 조절, 소규모 마을하수도 처리시설 설치 및 고도처리 등이 고려될 수 있으며, 저수지 내 관리방안으로는 물관리를 통해 저수율을 높이거나 준설 등을 통해 수심 및 저수용량을 증가시키는 방안이 있을 수 있다. 특히 중점관리 대상저수지는 상당기간 유역으로부터 유입된 오염물질이 축적되어있어 준설 시 퇴적물로부터 용출되는 인 감소와 더불어 수심증가에 따른 조류성장 억제 효과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 준설에 따른 효과는 퇴적물의 재 축적을 억제하기 위한 유역관리가 병행되어야 하며 준설과정중의 생태계교란 및 오염도가 심한 퇴적층에 노출되어 수질이 오히려 악화될 수 있으므로 충분한 사전검토가 필요할 것이다.

#### 4. 결론

본 연구는 23개 농업용 저수지를 대상으로 경험적 인자들과 수질간의 상호관계 분석을 통해 부영양화와 관련된 일반성을 조사하였다. 부영양화 정도와 영양상태를 토대로 엽록소 *a* 농도가 낮고 영양염이 제한요인이 되지 않는 저수지(Type I), 엽록소 *a* 농도는 낮으나 영양염 제한을 경험하는 저수지(Type II) 및 엽록소 *a* 농도가 높고 영양염 제한을 경험하는 저수지(Type III)로 구분하였다. TSI 편차분

석결과 영양염 중 인이 조류성장에 대한 제한영양염으로 총인 농도가 높을수록 엽록소 *a* 농도가 증가하였다. BOD, COD, TP 및 엽록소 *a* 농도는 Type III에서 가장 높았으나, SS와 TN 농도는 유형간의 차이가 없었다. Type III에 포함된 저수지는 저수용량이 많고, 수표면적과 유역면적이 비교적 넓으며 수표면적 대비 저수용량의 비(SAV)가 크고 노후된 특성이 있었다. 유역면적에 대한 농경지(논과 밭)의 면적비 또한 평균 17.4%로 Type I(평균 8.9%)과 II(16.2%)에 포함된 저수지들과 비교할 때 넓었으며 발생부하량과 배출부하량도 가장 많았다. Type III에 포함된 저수지 수체 내 BOD, TN 및 TP 농도와 유역내 발생부하량과 배출부하량은 유사한 경향을 보였으나, Type I과 II에 포함된 저수지들의 수질경향은 발생부하량보다는 배출부하량과 유사하였다. Type II에 포함된 저수지는 Type I과 비교해 인 배출부하량이 작았으나 수체 내 엽록소 *a* 농도와 TP 농도는 상대적으로 높은 수준이었다. Type II에 포함된 저수지는 Type III에 포함된 저수지에서 나타난 부영양저수지의 일반적인 특징과 유사하여 Type I에 비해 상대적으로 노후되었으며 SAV비가 컸다. 본 연구에서 제시된 수질과 관련된 경험적 인자들의 특성들은 농업용 저수지 중 수질개선이 시급한 중점관리대상을 선정하고 관리계획을 수립함에 있어 중요한 정보를 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

- 국립환경연구원(2004). 수계오염총량관리기술지침. 11-1480083-000148-01.
- 김좌관, 홍욱희(1992). 국내 인공댐호의 물리적 환경인자에 의한 호수특성 고찰에 관한 연구. *한국환경과학회지*, 1, pp. 49-57.
- 김호섭(2004). 저수지 조류 성장 동태학과 생태공학적 조류 제어 연구. 공학박사논문, 건국대학교.
- 김호섭, 최은미, 김동우, 공동수, 김경만, 김범철(2007). 농업용저수지 유역환경특성에 따른 수질경향 분석. *한국육수학회지*, 40(2), pp. 214-222.
- 김호섭, 황순진(2004). 얕은 부영양저수지의 육수학적 특성-계절에 따른 수질변화. *한국육수학회지*, 37(2), pp. 180-192.
- 농림부 농업기반공사(2003). 농업용수 수질측정망 조사 보고서.
- 박주현(2003). 한국 주요호수의 비교육수학적 연구. 이학박사논문, 강원대학교.
- 윤춘경, 이새봄, 정광욱, 한정윤(2007). 농업용저수지 유역의 토지이용과 수질항목 간의 상관관계 분석. *한국육수학회지*, 41(1), pp. 31-39.
- 이새봄, 윤춘경, 정광욱, 장재호, 전지홍(2007). 토지이용의 공간적 분포와 농업용저수지 수질간의 상관분석. *한국육수학회지*, 40(3), pp. 481-488.
- 전지홍, 윤춘경, 함종화, 김호일, 황순진(2002). 농업용저수지의 물리적 인자가 수질에 미치는 영향. *한국육수학회지*, 35(1), pp. 28-35.
- 환경부(2006). 물환경관리 기본계획 -4대강 대권역 수질보전 기본계획('06-'15).
- Anon (1982). *Eutrophication of waters. Monitoring, assessment*

- and control*. Organization for economic cooperation and development. Paris.
- Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.*, **22**, pp. 361-369.
- Carmack, E. C., Gray, C. B. J., Pharo, C. H. and Daley, R. J. (1979). Importance of lake-river interactions on seasonal patterns in the general circulation of Kamloops Lake, British Columbia. *Limnol. Oceanogr.*, **24**, pp. 634-644.
- Cooke, G. D., Welch, E. B., Peterson, S. A. and Newroth, P. R. (1993). *Restoration and management of lakes and reservoirs*. Lewis Publishers and CRC Press, Boca Raton, FL.
- Cooke, G. W. and Williams, R. J. B. (1973). Significance of man-made sources of phosphorus: fertilisers and farming. *Wat. Res.*, **7**, pp. 19-33.
- Happer, D. (1992). *Eutrophication of fresh water: principles, problems and restoration*. Chapman and Hall.
- Havens, K. E. (2000). Using Trophic state index (TSI) values to draw inferences regarding phytoplankton limiting factors and seston composition from routine water quality monitoring data. *한국육수학회지*, **33**(3), pp. 187-196.
- Kalff, J. (2002). *Limnology : Inland water Ecosystem*. Prentice hall, New Jersey.
- Kratzer, C. R. and Brezonik, P. L. (1981). A carlson-type trophic state index for nitrogen in Florida lakes. *Wat. Res. Bull.*, **17**, pp. 713-717.
- Peterjohn, W. T. and Correll, D. L. (1984). Nutrient dynamics in an agricultural watershed: observations on the role of a riparian forest. *Ecology*, **65**, pp. 1466-1475.
- Sommer, U., Gliwicz, Z. M., Lampert, W. and Duncan, A. (1986). The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters. *Arch. Hydrobiol.*, **106**, pp. 433-471.
- Tabuchi, T., Hisao, K., Hiroyuki, S., Keiko, T. and Takashi, M. (1991). Nitrogen outflow during irrigation period from a small agricultural area-Research on outflow load from agricultural area without a point source(II). *Trans. JSIDRE*, **154**, pp. 55-64.
- US EPA (1974) *Lake restoration*. US Environmental Protection Agency, Minneapolis, Minnesota.
- Van der Molen, D. T. and Boers, P. C. M. (1994). Influence of internal loading on phosphorus concentration in shallow lakes before and after reduction of the external loading. *Hydrobiol.*, **275/276**, pp. 379-389.
- William, F. J., Kennedy, R. H. and Montgomery, R. H. (1987). Seasonal and longitudinal variations in apparent deposition rates within an Arkansas reservoir. *Limnol. Oceanogr.*, **32**, pp. 1169-1176.