

농업용 저수지의 수질항목간의 상관관계 조사

Study on the Relationships among Water Quality Parameters in Agricultural Reservoirs

전 지 흥* · 윤 춘 경** · 함 종 화* · 김 호 일*** · 황 순 진**

J. H. Jeon · C. G. Yoon · J. H. Ham · H. I. Kim · S. J. Hwang

Abstract

Monitoring data from agricultural reservoirs throughout the country were analyzed to evaluate the limiting factor for algal growth and relationships between Chl-a, total phosphorus (TP), and total nitrogen (TN). Total 394 reservoirs ranging from below 500 m³ to over 50 million m³ in storage volume were monitored from 1990 to 2000 with respect to TP, TN, Chl-a, and their annual mean values were used for the analysis. Based on N/P ratio, the dominant limiting factor for algal growth was turned out to be phosphorus in agricultural reservoirs (about 83%). Therefore, the proper managements of phosphorus in the agricultural watershed appear to be crucial to prevent excessive on algal growth. The effects of phosphorus and nitrogen were most eminent during the summer period. And the effect of nutrients on the algal biomass (Chl-a) development appeared to be greater in smaller the reservoirs than in larger ones. Generally, Chl-a and TP demonstrated a close relationship while that of Chl-a and TN showed less correlation. Chl-a and chemical oxygen demand (COD) also showed a good relationship. Both ratios of Chl-a / TP and Chl-a / COD relationships were within the range of literature values. Quantitative analysis of TP and COD is relatively convenient compared to that of Chl-a, and the relationship between TP and COD and Chl-a from this study could be used beneficially for water quality management of agricultural reservoirs and related water quality modeling.

Keywords : Agricultural reservoir, Water quality management, Relationship, Regression analysis, Chl-a, TP, TN

I. 서 론

용수원은 크게 하천, 저수지, 지하수로 구별된다. 하천은 일반적으로 수량과 수질이 양호한 경제적인 수원이다. 그러나 우리나라의 경우 연간 강우량이 7월과 8월에 집중하기 때문에 하천의 이용가능 수량은 한정되어 있다. 저수지는 하천수를 저류하여 풍부하고 계획된 수량을 확보할 수 있으나 수질 관

* 건국대학교 대학원 지역건설환경공학과
** 건국대학교 생명환경과학대학
*** 농업기반공사
** Corresponding author. Tel.: +82-2-450-3747
fax: +82-2-446-2543
E-mail address: chunyoon@konkuk.ac.kr

리상 다소의 문제점을 가진다. 지하수는 안정적이지만 이용가능수량이 작기 때문에 보조용수원의 역할을 한다. 우리나라의 수자원 총량 중 24%만이 이용가능수량으로, 이 중 농업용수는 약 50%를 차지하는 수자원 이용에 매우 중요한 요소이다.⁴⁾ 특히, 농업용수의 60% 이상을 저수지에서 공급받기 때문에 저수지는 용수원으로써 중요한 역할을 하고 있다. 그러나 생·공업용수의 수요증가와 지속적인 저수지 수질의 악화는 앞으로 저수지의 이용에 많은 제한을 줄 것으로 예상된다. 앞으로 용수원의 양적인 개발은 한계가 있을 것으로 수질관리에 의한 용수의 효율적인 이용에 초점을 맞추어야 할 것이며, 이를 위해서는 지속적인 수질모니터링과 각 저수지의 특성에 적합한 합리적인 수질관리방법을 개발하고 적용해야 할 것이다.

호소 내에서의 오염물질 성분들은 각각 독립적으로 반응을 하는 것이 아니라 여러 항목들간에 복합하게 서로 영향을 주게된다. 특히 호소 내로 유입하는 영양물질은 호소 내의 수화현상(水花現狀, algal bloom)을 일으키며, 조류의 내부생산에 의해 COD가 증가된다. 이러한 원리를 이용하여 Dillon & Rigler(1974)는 Chl-a와 여름철 TP의 농도간에는 대수관계가 있다는 것을 밝혔으며²⁾ 그 후 Rast & Lee(1978)와 Bartsch & Gakstatter(1978) 등은 TP와 Chl-a과의 대수관계식을 유도하였다.^{1),16)} 또한 Smith & Shapiro(1981) 등은

Chl-a와, TN에 대한 TP의 비율에 의한 관계식을 도출하였다.¹⁸⁾ 우리 나라의 경우에도 호소내의 오염물질간의 상관관계에 대해 연구를 수행하였는데, 서 등은(1993) 대청호수내 Chl-a, TP, TN, 투명도에 대해 대수적인 상관관계가 있다는 것을 발표하였으며¹⁷⁾ 김 등(1994)은 국내 10개의 주요 호수에 있어서 Chl-a, TP, 투명도간의 대수적인 상관관계를 조사하였다.⁶⁾ 또한 김 등(2001)은 주암호에 있어 Chl-a, TP, TN, 투명도, SS간의 대수적인 상관관계를 조사하였는데, TN과 Chl-a와는 상관성이 없는 것으로 판명되었다.⁷⁾ 이러한 관계식들은 지역과 기후에 따라 영양물질이 Chl-a의 성장에 미치는 영향이 다르기 때문에 아주 상이하게 나타날 수도 있으며 보다 많은 자료를 수집하여 이와 같은 관계식의 신뢰성을 높일 필요가 있다.

본 연구의 목적은 전국 394개소 농업용 저수지의 수질측정자료를 활용하여 Chl-a, TP, TN, COD사이의 상관성을 조사하고 관계식을 도출함으로써 체계적인 농업용 저수지의 수질관리를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 재료 및 방법

본 연구에 사용된 수질자료는 농업기반공사에서 운영 중인 전국 394개소의 농업용 저수지를 1990년부터 2000년까지 모니터링한 자료를 이용하였

Table 1 Classification of agricultural reservoir with respect to storage volume

(Unit : 1,000m³)

Province	<500	500 ~1,000	1,000 ~5,000	5,000 ~10,000	10,000 ~50,000	>50,000	Total
Gyonggi-do	1	16	23	-	5	1	46
Gangwon-do	2	4	19	-	1	-	26
Chungcheong-do	5	13	52	5	9	1	85
Jeolla-do	3	12	85	10	7	5	120
Gyeongsang-do	1	23	82	6	2	3	117
Total	12 (3%)	68 (17%)	261 (66%)	19 (5%)	24 (6%)	10 (3%)	394 (100%)

다. 수질측정항목은 온도, pH, EC, DO, BOD, COD_{Mn}, TN, TP, SS, Chl-a 등이었다. 본 연구에 이용된 저수지의 유효저수량 규모별 분포현황은 Table 1과 같다.^{10),11),12),13)}

조류성장의 한계영양물질을 파악하기 위하여 질소와 인과의 비율을 사용하였다. 식물성 플랑크톤 세포의 C:N:P 비율은 일반적으로 100:20:1 정도이다. 또한 C:N:P의 이론적인 몰비는 100:16:1 정도이므로, N:P의 몰비가 16보다 크면 P가 조류의 성장에 제한 인자가 되고 16보다 작을 경우에는 N에 제한을 받는 것으로 추정한다. Sakamoto와 Forsberg에 의한 한계영양물질에 대한 N:P의 비율은 Table 2과 같으며, 본 연구에서는 394개소의 수질측정결과의 평균값을 가지고 N:P비율을 산정하여 Forsberg의 분류에 의해 한계영양물질을 파악하였다.^{5),9),14)}

또한 394개소의 수질 측정자료를 계절별, 저류 용량별, 지역별로 그룹화하여 Chl-a의 성장에 영향을 미칠 가능성성이 있는 영양물질인 TP와 TN과의 회귀분석에 의한 회귀식을 도출하였으며, 그리고 Chl-a의 내부생산에 의한 COD의 증가를 감안하여 Chl-a와 COD와의 회귀분석에 의한 회귀식을 산정하였다. 회귀모형은 기존의 연구사례를 기초로 하여 식(1), 식(2), 식(3)과 같다. 통계분석은 통계프로그램인 SPSS 10.0에 의해 회귀곡선과 결정계수(R²), p-value 등을 산정하였다.

Table 2 Forsberg and Sakamotos's N/P ratios for assessing the limiting nutrient for algal growth

Limiting nutrients	Forsberg (weight ratio)	Sakamoto (mole ratio)	Sakamoto (weight ratio)
Nitrogen	<10	<22	<9~10
Nitrogen or Phosphorus	10~17	-	(9~10)~(15~17)
Phosphorus	>17	>37.6	>15~17

$$\text{Log}(\text{Chl}-a) = A \times \text{Log}(\text{TP}) + B \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{Log}(\text{Chl}-a) = A \times \text{Log}(\text{TN}) + B \dots \dots \dots (2)$$

$$\text{Log}(\text{Chl}-a) = A \times \text{Log}(\text{COD}) + B \dots \dots \dots (3)$$

III. 결과 및 고찰

1. 영양물질한계인자

Forsberg의 N:P의 비율에 의한 우리나라 저수지에서의 한계영양물질은 Table 3과 같다. 질소에 대한 인의 중량비율이 10 이하인 경우는 질소가 조류성장의 한계영양물질이며, 10~17사이에는 질소 또는 인이 한계영양물질이며, 17 이상인 경우는 인이 한계영양물질이다. 연구결과 인이 한계영양물질인 경우는 전체 394개소 중 329개로서 83%를 차지였으며, 질소 혹은 인의 경우는 58개소(15%), 질소가 한계영양물질인 경우는 7개소(2%)로서, 우리나라 농업용 저수지의 대부분이 인이 한계인자임을 알 수 있다.

Table 3 Limiting factor in Korean agricultural reservoirs

	Phosphorus	Nitrogen or Phosphorus	Nitrogen	Total
Gyeonggi-do	38	7	1	46
Gangwon-do	22	3	1	26
Chungcheong-do	68	15	2	85
Jeolla-do	97	22	1	120
Gyeongsang-do	104	11	2	117
Total	329(83%)	58(15%)	7(2%)	394(100%)

2. Chl-a와 수질항목간의 회귀분석 결과

가. 계절에 따른 Chl-a와 수질항목간의 회귀분석 결과

우리나라 농업용저수지의 계절별 Chl-a와 수질 항목간의 상관관계는 Fig. 1과 Table 4와 같다. Chl-a와 수질항목간의 상관관계는 여름에서 가장 높은 결정계수를 나타내었는데, Chl-a와 TP는 $\text{Log}(\text{chl}-a) = 0.81 \times \text{Log}(\text{TP}) + 0.11$ 로써 결정계수 0.50을 나타내었고 Bartsch and Gakstatter (1978)가 발표한 $\text{log}(\text{Chl}-a) = 0.807\text{log}(\text{TP}) - 0.194$ 와 유사하였으며 Chl-a와 TN은 $\text{Log}(\text{chl}-a) =$

$0.72 \times \text{Log}(\text{TN}) + 1.18$ 로써 결정계수 0.22을 나타내었으며 Chl- α 와 COD는 $\text{Log}(\text{chl}-\alpha) = 1.54 \times \text{Log}(\text{COD}) - 0.03$ 로써 결정계수 0.56를 나타내었다. 따라서 조류의 성장에 영향을 미치는 인자는 영양물질뿐 아니라 온도와 같은 기후적인 조건도 중요한 것으로 나타났다. 또한 항목별 결과를 보면 Chl- α 와 COD의 회귀분석이 가장 큰 결정계수를 나타내었으며 다음이 Chl- α 와 TP, Chl- α 와 TN의 순이었다. 이는 Chl- α 의 구성성분 중 가장 많은 부분을 차지하는 것이 탄소(C)이기 때문에 Chl- α 의 성장이 COD의 상승에 직접적으로 영향을 미친 것으로 판단되며, Chl- α 와 TP의 결정계수가 Chl- α 와 TN의 결정계수보다 높은 것은 우리나라 농업용 저수지의 한계영양물질의 83%가 TP라는 연구결과와 일치하는 것으로 나타났다.

여기서, 결정계수는 회귀분석에 의해 산정된 회귀곡선이 얼마나 설명력을 가지고 있는지를 판단하며 실용적으로 유의하다는 의미를 갖는다. 직선 회귀식에서의 p-value는 "x와 y사이의 직선의 기울기는 0이다"라는 귀무가설을 기각할 수 있는 최대 확률로써, p-value가 유의 수준 α 의 주어진 값보다 작으면 귀무가설을 기각하게 되며 통계적으로 유의하다는 의미를 갖는다. 따라서 결정계수가 아무리 높더라도 p-value값이 유의수준보다 큰 회귀식은 유용한 예측이 기대될 수 없는 경우가 발생할 수 있다.^{3), 8), 15)}

나. 저수지의 저류 용량별에 따른 Chl- α 와 수질항목간의 회귀분석 결과 우리나라 농업용 저수지의 저류용량별 Chl- α 와

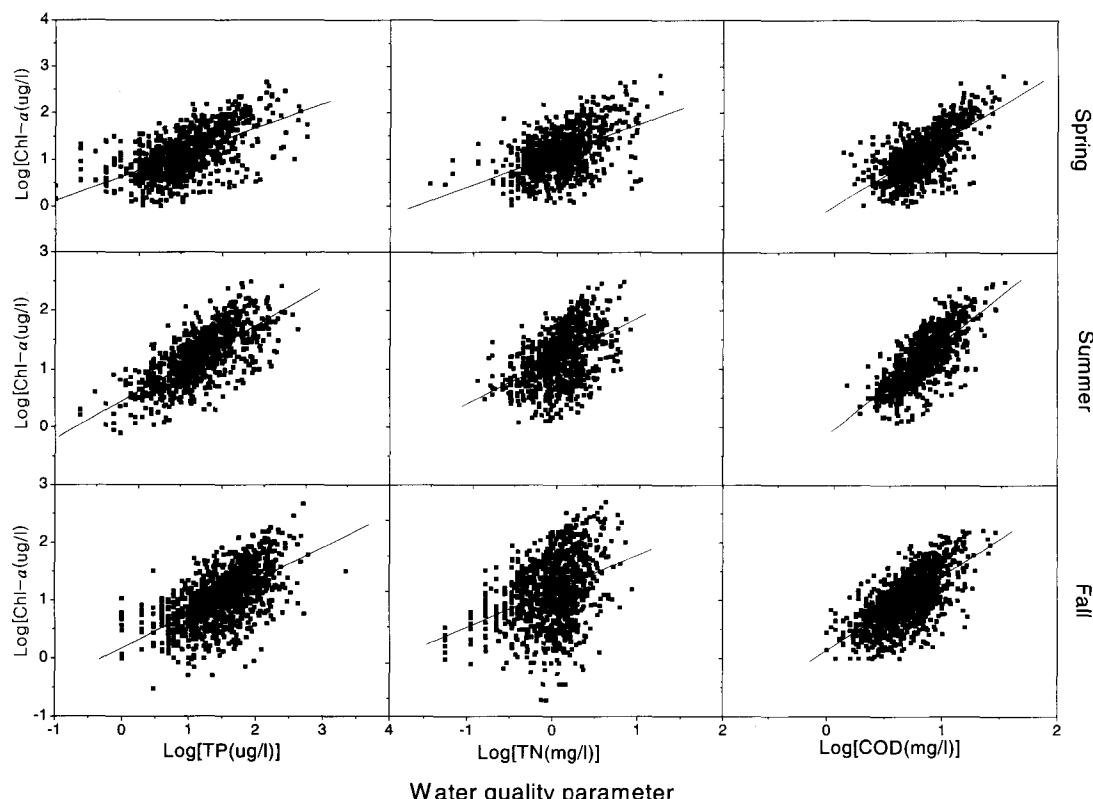


Fig. 1 Log-Log plot of Chl- α and other constituents in agricultural reservoirs according to season

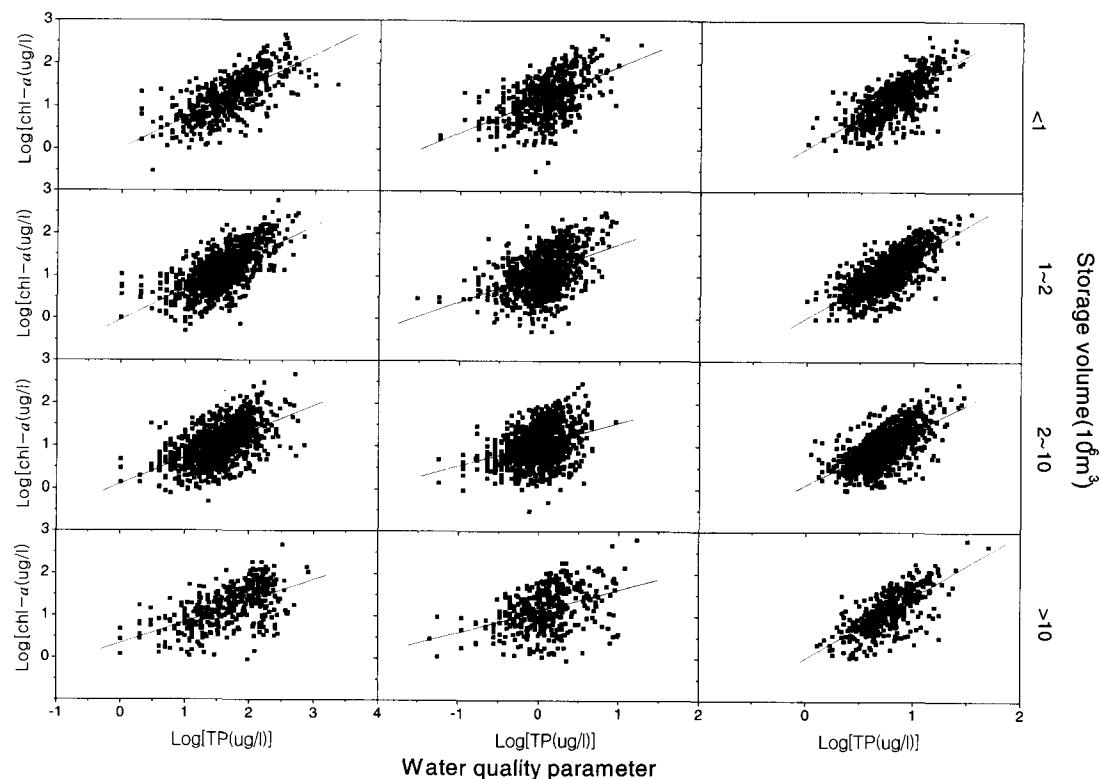
Table 4 Relationships between Chl- α and other constituents in agricultural reservoirs according to season

Season*		Equation**	R ²	N***	p-value
TP	Spring	$\text{Log}(\text{chl-}\alpha) = 0.65 \times \text{Log}(\text{TP}) + 0.11$	0.36	852	<0.0001
	Summer	$\text{Log}(\text{chl-}\alpha) = 0.81 \times \text{Log}(\text{TP}) + 0.11$	0.50	781	<0.0001
	Fall	$\text{Log}(\text{chl-}\alpha) = 0.58 \times \text{Log}(\text{TP}) + 0.18$	0.34	1017	<0.0001
TN	Spring	$\text{Log}(\text{chl-}\alpha) = 0.66 \times \text{Log}(\text{TN}) + 1.11$	0.18	852	<0.0001
	Summer	$\text{Log}(\text{chl-}\alpha) = 0.72 \times \text{Log}(\text{TN}) + 1.18$	0.22	781	<0.0001
	Fall	$\text{Log}(\text{chl-}\alpha) = 0.51 \times \text{Log}(\text{TN}) + 1.01$	0.13	1017	<0.0001
COD	Spring	$\text{Log}(\text{chl-}\alpha) = 1.44 \times \text{Log}(\text{COD}) + 0.01$	0.46	852	<0.0001
	Summer	$\text{Log}(\text{chl-}\alpha) = 1.54 \times \text{Log}(\text{COD}) - 0.03$	0.56	781	<0.0001
	Fall	$\text{Log}(\text{chl-}\alpha) = 1.28 \times \text{Log}(\text{COD}) + 0.14$	0.45	1017	<0.0001

* Spring : March ~ May, summer : June ~ August, Fall : September ~ November

** Unit : Chl- α ($\mu\text{g/l}$), TP($\mu\text{g/l}$), TN(mg/l), COD(mg/l)

***N : Number of data set

Fig. 2 Log-Log plot of Chl- α and other constituents in agricultural reservoirs according to volume

수질항목간의 상관관계는 Fig. 2과 Table 5와 같다. Chl- a 와 TP는 저수지의 저류용량이 $1\sim2\times10^6\text{m}^3$ 에서, Chl- a 와 TN, Chl- a 와 COD는 $1\times10^6\text{m}^3$ 이하에서 가장 높은 결정계수를 나타내었는데, Chl- a 와 TP는 $\text{Log}(\text{chl-}a) = 0.73 \times \text{Log}(\text{TP}) + 0.01$ 로써 결정계수 0.50를 나타내었으며, Chl- a 와 TN은 $\text{Log}(\text{chl-}a) = 0.78 \times \text{Log}(\text{TN}) + 0.06$ 로써 결정계수 0.27를 나타내었고, Chl- a 와 COD는 $\text{Log}(\text{chl-}a) = 1.45 \times \text{Log}(\text{COD}) + 0.06$ 로써 결정계수 0.53을 나타내었다.

또한 Chl- a 와 TN은 저류용량이 증가할수록 직선의 기울기와 결정계수가 감소하는 경향을 나타내었으며 TP는 $2\times10^6\text{m}^3$ 을 경계로하여 동일한 경향을 나타내었는데, 이는 저수지의 저류용량이 작을수록 영양물질이 Chl- a 의 성장에 미치는 영향이 크며 동일한 영양물질의 농도일지라도 저수지의 저류용량이 작을수록 Chl- a 의 성장이 왕성한 것을 의미한다. 따라서 농업용 저수지의 설계시 조류의 성장을 억제시키기 위해서는 되도록 저수지의 저류용량을 크게 하는 것이 저수지의 부영양화 방지에

유리할 것으로 판단된다.

다. 지역에 따른 Chl- a 와 수질항목간의 회귀분석 결과

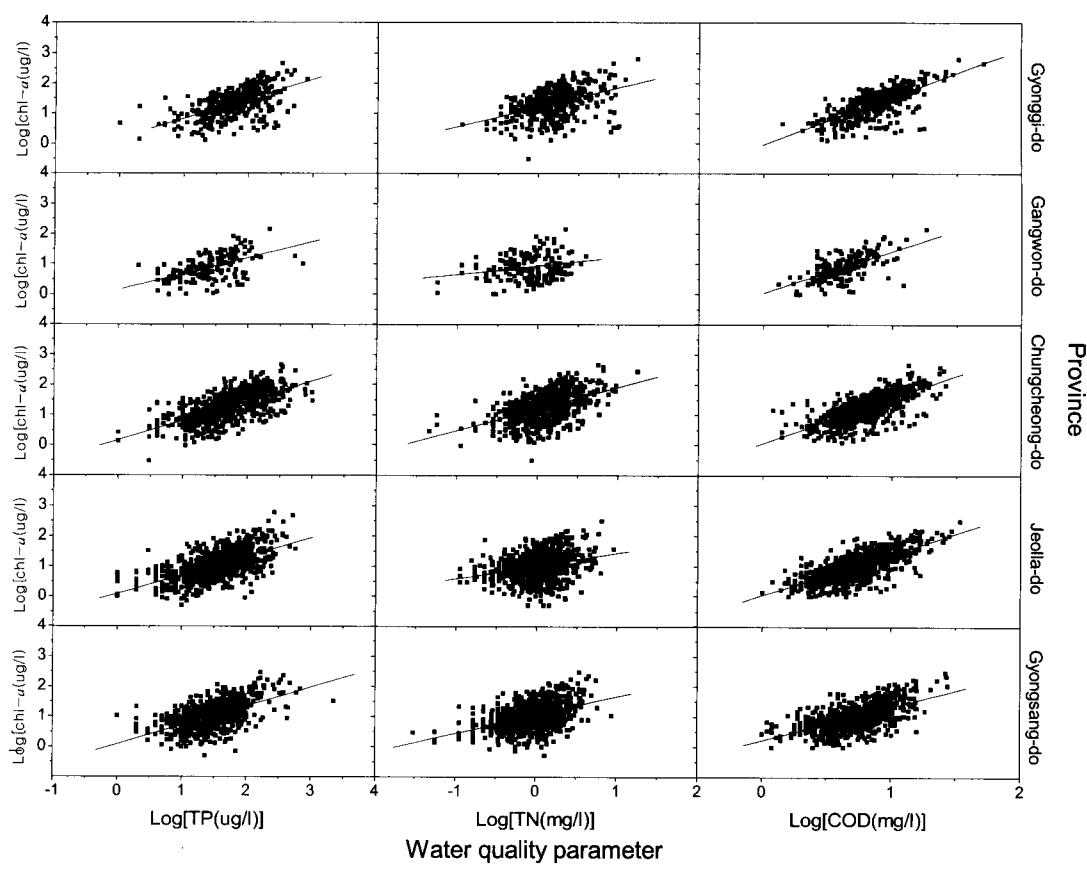
우리나라 농업용 저수지의 지역별 Chl- a 와 수질항목간의 상관관계는 Fig. 3과 Table 6와 같다. Chl- a 와 TP, Chl- a 와 TN은 충청도에서 각각 $\text{Log}(\text{chl-}a) = 0.65 \times \text{Log}(\text{TP}) + 0.17 R^2=0.43$, $\text{Log}(\text{chl-}a) = 0.71 \times \text{Log}(\text{TN}) + 1.19 R^2=0.23$ 으로 가장 높은 결정계수를 나타내었으며, Chl- a 와 COD는 경기도에서 $\text{Log}(\text{chl-}a) = 1.58 \times \text{Log}(\text{COD}) - 0.03 R^2=0.52$ 로써 가장 높은 결정계수를 나타내었다. 또한 결정계수가 가장 낮은 지역은 영양물질인 TP와 TN의 경우 강원도에서, COD의 경우 경상도에서 가장 낮은 결정계수를 나타내었다.

3. 종합고찰

우리 나라 농업용 저수지의 계절별, 저류용량별 그리고 지역에 따른 수질항목간 분석결과 여름철의

Table 5 Relationships between Chl- a and other constituents in agricultural reservoirs according to volume

	Reservoir volume	Equation	R ²	N	p-value
TP	$<1\times10^6\text{m}^3$	$\text{Log}(\text{chl-}a) = 0.73 \times \text{Log}(\text{TP}) + 0.01$	0.50	535	<0.0001
	$1\sim2\times10^6\text{m}^3$	$\text{Log}(\text{chl-}a) = 0.74 \times \text{Log}(\text{TP}) - 0.04$	0.43	789	<0.0001
	$2\sim10\times10^6\text{m}^3$	$\text{Log}(\text{chl-}a) = 0.61 \times \text{Log}(\text{TP}) + 0.11$	0.32	937	<0.0001
	$>10\times10^6\text{m}^3$	$\text{Log}(\text{chl-}a) = 0.50 \times \text{Log}(\text{TP}) + 0.34$	0.33	389	<0.0001
TN	$<1\times10^6\text{m}^3$	$\text{Log}(\text{chl-}a) = 0.78 \times \text{Log}(\text{TN}) + 0.06$	0.27	535	<0.0001
	$1\sim2\times10^6\text{m}^3$	$\text{Log}(\text{chl-}a) = 0.68 \times \text{Log}(\text{TN}) + 1.08$	0.20	789	<0.0001
	$2\sim10\times10^6\text{m}^3$	$\text{Log}(\text{chl-}a) = 0.50 \times \text{Log}(\text{TN}) + 1.04$	0.12	937	<0.0001
	$>10\times10^6\text{m}^3$	$\text{Log}(\text{chl-}a) = 0.50 \times \text{Log}(\text{TN}) + 1.12$	0.16	389	<0.0001
COD	$<1\times10^6\text{m}^3$	$\text{Log}(\text{chl-}a) = 1.45 \times \text{Log}(\text{COD}) + 0.06$	0.53	535	<0.0001
	$1\sim2\times10^6\text{m}^3$	$\text{Log}(\text{chl-}a) = 1.45 \times \text{Log}(\text{COD}) + 0.04$	0.53	789	<0.0001
	$2\sim10\times10^6\text{m}^3$	$\text{Log}(\text{chl-}a) = 1.25 \times \text{Log}(\text{COD}) + 0.13$	0.41	937	<0.0001
	$>10\times10^6\text{m}^3$	$\text{Log}(\text{chl-}a) = 1.46 \times \text{Log}(\text{COD}) + 0.02$	0.51	389	<0.0001

Fig. 3 Log-Log plot of Chl-*a* and other constituents in agricultural reservoirs with respect to provinceTable 6 Relationships between Chl-*a* and other constituents in agricultural reservoirs according to province

Province		Equation	R ²	N	p-value
TP	Gyeonggi-do	Log(chl- <i>a</i>) = 0.65 × Log(TP) + 0.19	0.34	371	<0.0001
	Gangwon-do	Log(chl- <i>a</i>) = 0.53 × Log(TP) + 0.15	0.23	172	<0.0001
	Chungcheong-do	Log(chl- <i>a</i>) = 0.65 × Log(TP) + 0.17	0.43	646	<0.0001
	Jeolla-do	Log(chl- <i>a</i>) = 0.62 × Log(TP) + 0.09	0.36	751	<0.0001
	Gyeongsang-do	Log(chl- <i>a</i>) = 0.63 × Log(TP) + 0.09	0.34	710	<0.0001
TN	Gyeonggi-do	Log(chl- <i>a</i>) = 0.65 × Log(TN) + 1.21	0.19	371	<0.0001
	Gangwon-do	Log(chl- <i>a</i>) = 0.28 × Log(TN) + 0.93	0.05	172	<0.0001
	Chungcheong-do	Log(chl- <i>a</i>) = 0.71 × Log(TN) + 1.19	0.23	646	<0.0001
	Jeolla-do	Log(chl- <i>a</i>) = 0.42 × Log(TN) + 1.00	0.08	751	<0.0001
	Gyeongsang-do	Log(chl- <i>a</i>) = 0.61 × Log(TN) + 1.05	0.20	710	<0.0001
COD	Gyeonggi-do	Log(chl- <i>a</i>) = 1.58 × Log(COD) - 0.03	0.52	371	<0.0001
	Gangwon-do	Log(chl- <i>a</i>) = 1.38 × Log(COD) + 0.05	0.40	172	<0.0001
	Chungcheong-do	Log(chl- <i>a</i>) = 1.49 × Log(COD) + 0.06	0.50	646	<0.0001
	Jeolla-do	Log(chl- <i>a</i>) = 1.37 × Log(COD) + 0.04	0.51	751	<0.0001
	Gyeongsang-do	Log(chl- <i>a</i>) = 1.10 × Log(COD) + 0.22	0.38	710	<0.0001

경우 Chl-*a*와 TP, TN, COD와의 결정계수가 가장 높았으며, 또한 영양물질인 TP와 TN의 경우 저수지의 조류용량이 작을수록 영양물질이 조류의 성장에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다. 또한 Chl-*a*와 COD와의 상관성이 가장 높았으며 다음이 Chl-*a*와 TP였으며 Chl-*a*와 TN과의 상관성이 가장 낮았는데 이는 TP가 Chl-*a*성장에 영향을 주었으며, Chl-*a*의 성장으로 인하여 COD의 내부생산 또한 증가한 결과라 생각되며, 정체성 수역에서 나타나는 주요한 특성이라 판단된다.

Chl-*a* 수질측정시 다른 항목보다 상대적으로 시간과 노력이 많이 필요할 뿐 아니라, 조류가 변성하는 시기에 제한적으로 측정함으로써 저수지의 부영양화 상태를 판단할 수 있다는 단점을 가지고 있는 반면에, 비교적 수질측정이 용이하고 연중 수질측정이 가능한 COD나 TP의 수질만으로도 이와 같은 상관성을 이용하여 Chl-*a*를 간접적으로 추정함으로써 시간적인 제약을 피할 수 있으며 노력과 시간을 단축시킬 수 있으리라 생각된다. 그리고, Chl-*a*와 다른 수질 항목간 상관관계는 지역의 특성, (즉 기후와 같은 조류의 성장에 영향을 미치는 인자)에 따라 상이하게 나타날 가능성이 있기 때문에 타 지역, 특히 외국에서 산정된 TSI와 같은 영양화 지수에 의한 저수지의 부영양화 평가는 Chl-*a*에 의한 결과와 TP에 의한 결과가 상이하게 나타날 수 있다. 따라서 위의 결과를 이용하여 우리 나라에 적합한 영양화 지수식을 도출할 수 있으며 이를 이용하여 조류가 변성하지 않는 시기에도 COD나 TP 항목으로 영양화도 판정이 가능하리라 판단된다.

일반적으로 호소의 Chl-*a*를 예측하기 위해서는 수많은 입력인자를 필요로 하는 복잡한 모형을 적용함으로써 가능하지만, 우리 나라에 산재되어 있는 수많은 농업용 저수지에 모형을 적용하기에는 시간과 노력면에서 현실적으로 어려운 면이 있다. 따라서 Chl-*a*와 수질항목간, 혹은 유역에서의 배출부하량과 호소내에서의 수질항목, Chl-*a*과의 관

계를 규명해 낸다면, 소규모 농업용 저수지에 적용할 수 있는 간편한 경험적 수질예측모형을 개발하여 시간과 노력을 절약할 수 있을 것으로 판단된다.

또한 우리나라 대부분의 농업용 저수지에서 조류성장의 한계영양물질이 인이라는 결과와 Chl-*a*와 TP가 높은 상관성을 가지고 있다는 결과는 농업용 저수지에서의 조류억제 방지의 주된 기법이 호소내에서의 인농도 감소라는 것을 알 수 있으며, Chl-*a*와 TP와의 상관성이 높을수록 인 농도 감소에 의한 조류의 성장억제의 효과는 더욱 클 것으로 판단된다. 따라서 농업용 저수지의 수질관리 측면에서 수화현상 방지를 위해서는 영양물질과 조류와의 관계를 규명한 후, 조류의 성장이 영양물질이 주된 원인인지 아니면 물리적 환경인자인지 등을 파악한 후 이에 적절한 대책이 수립되어야 할 것이다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 농업기반공사에서 운영중인 농업용 저수지의 1990-2000년 동안의 수질자료를 이용하여 우리나라 농업용 저수지의 한계영양물질을 분석하였고, Chl-*a*와 TP, Chl-*a*와 TN, Chl-*a*와 COD와의 회귀분석을 실시하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 질소와 인의 비율에 따른 농업용 저수지의 조류성장에 대한 영양물질한계인자는 전체 저수지의 83%가 인이었고, 15%가 인이나 질소, 그리고 2%가 질소이어서 우리나라 농업용 저수지의 영양물질한계인자는 대부분의 경우 인으로 나타났다.

2. 계절에 따른 Chl-*a*와 수질항목간의 상관관계는 여름철에 상관관계가 가장 높았는데, 회귀분석 결과 유의 수준 $\alpha=0.01$ 에서 Chl-*a*와 TP는 $\text{Log}(\text{chl-}a)=0.81 \times \text{Log}(\text{TP})+0.11$ ($R^2=0.50$), Chl-*a*와 TN은 $\text{Log}(\text{chl-}a)=0.72 \times \text{Log}(\text{TN})+1.18$ ($R^2=0.22$), Chl-*a*와 COD는 $\text{Log}(\text{chl-}a)=1.54 \times \text{Log}(\text{COD})-0.03$ ($R^2=0.56$)를 나타내었다.

3. 저수지의 저류용량에 따른 Chl-a와 수질항목 간의 상관관계는 일반적으로 저수지의 저류용량이 작을수록 영양물질인 TP와 TN이 조류의 성장에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났으며, 저수지의 저류용량이 Chl-a와 COD와의 관계에 미치는 뚜렷한 영향은 나타나지 않았다.

4. 지역별 Chl-a와 수질항목간의 회귀분석결과 Chl-a와 TP, Chl-a와 TN은 충청도에서 각각 $\text{Log}(\text{chl-a}) = 0.65 \times \text{Log}(\text{TP}) + 0.17 R^2=0.43$, $\text{Log}(\text{chl-a}) = 0.71 \times \text{Log}(\text{TN}) + 1.19 R^2=0.23$ 으로 가장 높은 결정계수를 나타내었으며, Chl-a와 COD는 경기도에서 $\text{Log}(\text{chl-a}) = 1.58 \times \text{Log}(\text{COD}) - 0.03 R^2=0.52$ 로써 가장 높은 결정계수를 나타내었다.

5. 이상의 결과에 의하면 우리나라 농업용 저수지의 경우 계절이 조류의 성장에 비교적 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 저수지의 저류용량이 클수록 부영양화 관리에 유리하는 것으로 나타났다. 또한 Chl-a는 TP와 COD사이에 높은 결정계수를 나타내었으며 이는 수질관리 및 수질예측에서 상대적으로 분석이 용이한 COD나 TP농도에 의해 Chl-a의 농도를 어느 정도 신뢰성 있게 추정할 수 있을 것이며, 이러한 상관관계식들은 농업용 저수지의 수질관리에 유익하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 농림부 농림기술개발연구과제 (농지배수의 친환경적 관리 및 처리기법 개발)의 지원에 의하여 수행되었음.

References

- Bartsch, A. F. and Gakstatter, J. H. 1978. *Management Decisions for Lake Systems on a Survey of Trophic Status, Limiting Nutrients, and Nutrient Loadings in American-Soviet Symposium on Use of Mathematical Models to Optimize Water Quality Management*, 1995. U.S. Environmental Protection Agency of Research and Development, Environmental Research Laboratory, Gulf Breeze, FL, pp. 372-394. EPA-600/9-78-024.
- Dillon, P. J. and Rigler, F. H. 194. The Phosphorus-Chlorophyll Relationship for Lakes, *Limnol. Oceanogr.* 19:767-773.
- Jeon, H. S., Lee, J. J., Ko, K. B. (translator) 1998. *Statistics for Environmental Engineers* (author : P. M. Berthouex, L. C. Brown). Seoul : Dong Hwa Techonology Publishing Co. (in Korean)
- Jung, H. W., Kim, S. J., Kim, J. S., An, B. K., Lee, G. H., Lee, N. H., Jung, S. O.. 1999. *Engineering of Irrigation and Drainage*. Seoul : Dongmyungsa. (in Korean)
- Jung T. S. 1992. A Study on the Change and Antisipation of Water Quality of Estuary Reservoir in Geum River. Master's Program. Ind.: Chonbuk National University. (in Korean)
- Kim, B. C., Park, J. H.. 1994. Corelation of Eutrophication and Related Constituents in Korean Major Lake. *Korean J. Limnol.*, 27: 206.
- Kim, B. C., Park, J. H.. Heo, W. M., Lim, B. J., Hwang, G. S., Choi, K. S., Choi, S. S. 2001. The Limnological Survey of Major Lakes in Korea(4): Lake Juam. *Korean J. Limnol.* 34:30-44.
- Konkuk University Press. 1999. *SPSS Real Stats.* (in Korean)
- Korea Water Resources Corporation. 1989. Survey of Water Quality of Multi-Purpose Dams. (in Korean)
- Ministry of Agriculture & Forestry, Korea Agricultural & Rural Infrastructure Corporation. 2000. Survey of Irrigation Water Quality.

11. Ministry of Agriculture & Forestry, Korea Agricultural & Rural Infrastructure Corporation. 2000. Survey of Irrigation Water Quality (According to Annual).
12. Ministry of Agriculture & Forestry, Korea Agricultural & Rural Infrastructure Corporation. 2000. Survey of Irrigation Water Quality (According to Scale)
13. Ministry of Agriculture & Forestry, Korea Agricultural & Rural Infrastructure Corporation. 2000. Survey of Pollutant Source of Irrigation Water(1999-2000).
14. OECD. 1978. op.cit.:139.
15. Peak, S. B., Do, W. S., An, J. H., Ho, K. S.. 1994. *Statistics for Experimentation*: Konkuk University Press (in Korean)
16. Rast, W. and Lee, G. F. 1978. *Summary Analysis of the North American Project(US portion) OECD Eutrophication Project: Nutrient Loading-Lake Response Relationships and Trophic State Indexes*, USEPA Corvallis Environmental Research Laboratory, Corvallis, Or, EPA-600/3-78-008.
17. Seo,D.I. , Jang M. S.. 1993. Corelationship Analysis of Chl-a and TP at Deachung Dam, In *Proc. the 1993 Annual Conference Journal of Korean Society of Water and Wastewater*: 68-69.
18. Smith, V. H. and Shapiro, J. 1981. *A Retrospective Look at the Effects of Phosphorus Removal in Lakes, in Restoration of Lakes and Inland Waters*. USEPA, Office of Water Regulation and Standards, Washington, DC. EPA-440/5-81-010.