

# 금강수계 내 인공호의 영양상태 및 엽록소-*a*와 수질변수들간의 경험적 상관관계에서의 지리적 변동

이 재 연<sup>1,2</sup> · 오 희 목<sup>2</sup> · 안 광 국<sup>1,\*</sup>

(<sup>1</sup>충남대학교 생명시스템대학 생명과학과, <sup>2</sup>한국생명공학연구원 환경바이오연구센터)

**Trophic Conditions of Man-Made Reservoirs Within Keum-River Watershed and Geographical Dynamics in Empirical Relations of Chlorophyll-*a* to Some Other Parameters. Lee, Jae-Yon<sup>1,2</sup>, Hee-mock Oh<sup>2</sup> and Kwang-Guk An<sup>1,\*</sup> (<sup>1</sup>Environmental Biotechnology Research Center, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology (KRIBB); <sup>2</sup>Department of Biological Science, School of Biological Sciences and Biotechnology, Chungnam National University)**

**In this study, we identified spatial and temporal patterns of reservoir trophic state within Keum-river watershed and analyzed correlations between chlorophyll-*a* (Chl-*a*) and water quality parameters including conductivity and total phosphorus (TP). The reservoirs were separated into three trophic categories by the criteria of TP: 2 oligotrophic (9.3~9.4 μg L<sup>-1</sup>), 15 mesotrophic (10.3~19.2 μg L<sup>-1</sup>), and 14 eutrophic reservoirs (38.9~117.1 μg L<sup>-1</sup>). Water quality parameters such as conductivity, TP, and Chl-*a* reflected rainfall patterns, and the patters of annual mean TP were similar to the variation of annual mean Chl-*a*. Empirical models of Chl-*a* against TP in reservoirs showed that statistical significance ( $p < 0.05$ ) occurred in only some seasons and the trophic relations were modified by a washing-out effect or high non-algal light attenuation.**

**Key words : empirical model, reservoir, Chl-*a*, seasonal variation**

## 서 론

일반적으로 인공호에서의 영양염류는 수체 내 1차생산력의 급격한 증가뿐 아니라, 남조류의 빈번한 수화현상을 야기시켜, 호소 생태계의 교란을 야기하는 중요한 요인으로 작용한다 (An *et al.*, 2003). 남조류는 Microcystin으로 알려진 간 독소물질을 배출하여 이를 직간접적인 섭취

또는 흡수하는 수생태계내 생물에게 심각한 위협을 초래할 수 있다 (Kim *et al.*, 1995). 특히 인은 인공호에서 부영양화의 주요원인으로 작용하며, 인 (P)의 과도한 유입은 식물플랑크톤 뿐만 아니라 남조류의 수화현상 (bloom)을 가속화 시킬 수 있다. 따라서 인공호 내의 인의 제어는 수화현상 (bloom)의 제어와 수생태계의 건강성을 유지하는데 필수적이다 (Oh *et al.*, 1998).

한편, 인공호는 자연호에 비하여 시공간적 수질의 역동

\* Corresponding author: Tel: 042) 821-6408, Fax: 042) 822-9690, E-mail: kgan@cnu.ac.kr

성이 크고, 수리수문학적으로 더 큰 변이를 보이는 것으로 알려져 있다. 특히, 우리나라에서 몬순강우는 인공호의 수질변이에 큰 영향을 미치는 것으로 보고되고 있으며 (Faithful and Griffiths, 2000; An *et al.*, 2001; An and Shin, 2005), 이로 인한 수위 및 유량 뿐 아니라 유기물과 영양염류 (N, P)의 농도에도 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다 (An *et al.*, 2001). 최근 저수지 내에서 수질변이의 특성을 파악하기 위해 다양한 수질 모델을 개발·적용하고 있으며 (Kwon *et al.*, 2008), 이러한 모델을 이용하여 영양염류와 1차 생산력의 관계를 수치적으로 해석하여 향후 수질변화를 예측하고 있다. 그러나 이들 모델은 하절기 몬순강우에 의한 영양염의 유입과 유출량 변동이 정확하게 반영되기 어려우며, 호수의 부영양상태에 따른 계절적 변이를 파악하기 힘들다. 또한 예측 모델에 사용되는 다양한 변수로 인해 인과 같은 특정 요인의 변이를 관찰하기 어려울 수 있다. 따라서 인공호의 효율적인 관리를 위해서는 영양상태 및 계절에 따른 변이를 예측하기 쉽고 단순화된 경험적 모델 (Empirical model)이 꼭 필요하다.

본 연구에서는 금강수계 내에 위치한 인공호들에서 인공호의 부영양화에 가장 중요한 인 (P), 질소 (N), 및 Chl-

a 등을 이용하여 경험적 모델을 개발하였고, 이들 변수들에 직·간접적으로 영향을 주는 전기전도도 및 여러 용존성 영양염류 (NO<sub>3</sub>-N, DIN, DIP)를 분석하여 수계의 부영양화 특성을 비교분석하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 저수지 선정

본 연구에서는 환경부에서 관리하고 있는 금강 유역의 총 31개의 저수지를 선정하였고, 해수에 의한 영향이 야기되는 기수역과 인접한 저수지는 제외하였으며, 선정된 저수지 현황은 다음과 같다; 대전광역시 1개 저수지 (대청호 1 (DC1)), 충청남도 14개 저수지 (부남호 1 (BN1), 부남호 2 (BN2), 부남호 3 (BN3), 보령호 1 (BR1), 보령호 2 (BR2), 보령호 3 (BR3), 간월호 1 (GW1), 간월호 2 (GW2), 간월호 3 (GW3), 탐정지 1 (TJ1), 탐정지 2 (TJ2), 예당지 1 (YE1), 예당지 2 (YE2), 예당지 3 (YE3)), 충청북도 4개 저수지 (대청호 2 (DC2), 대청호 3 (DC3), 대청호 4 (DC4), 대청호 5 (DC5)), 전라북도 12개 저수지 (부안호 1 (BA1), 부안호 2 (BA2), 부안호 3 (BA3), 대아지 1 (DA1), 대아지

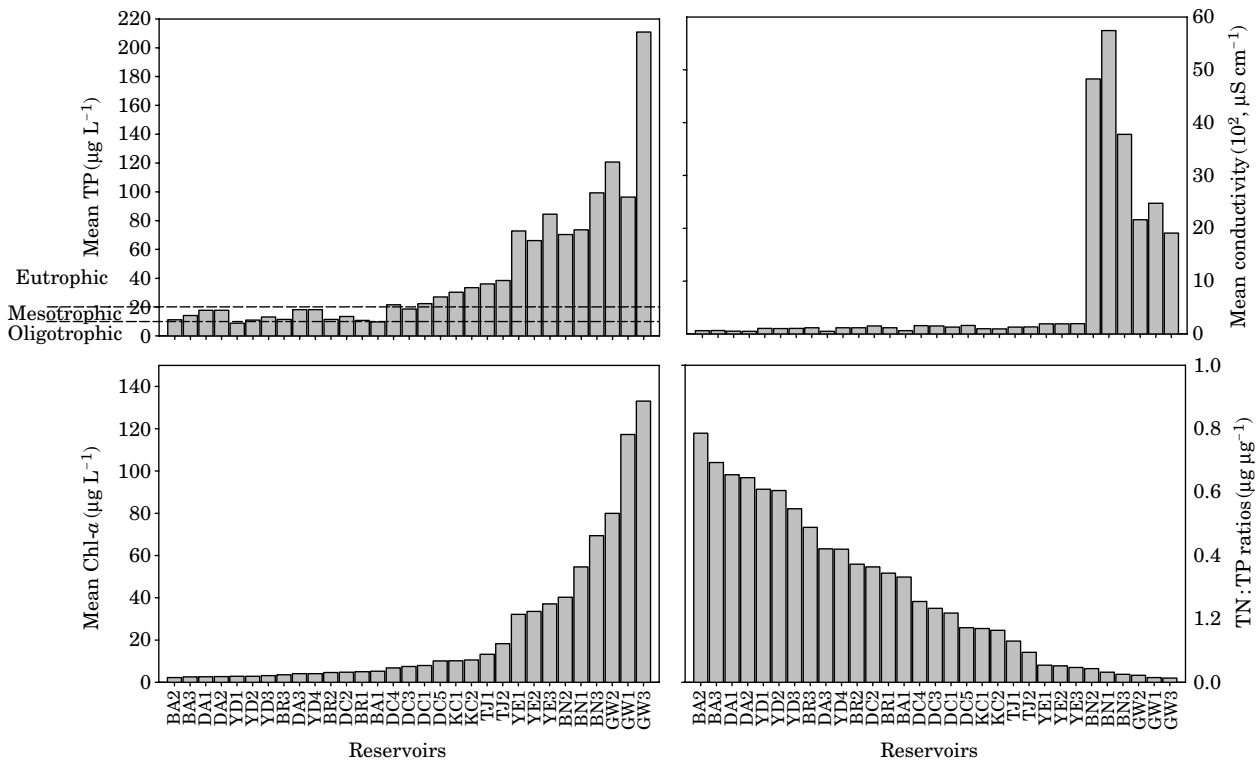


Fig. 1. Classification of trophic state by the criteria of US EPA (1996).

2 (DA2), 대아지 3 (DA3), 경천지 1 (KC1), 경천지 2 (KC2), 용담댐 1 (YD1), 용담댐 2 (YD2), 용담댐 3 (YD3), 용담댐 4 (YD4)).

2. 수질자료 및 데이터 분석

본 연구에 사용된 금강 유역의 31개 저수지의 수질자료는 2008년부터 2009년까지 측정된 환경부의 물환경정보시스템 (<http://water.nier.go.kr>)의 데이터뱅크로부터 획득하였다. 본 연구에서는 수질변수로 총인, 총질소, 전기전도도, pH 및 Chl-a 값을 사용하였다. 2008년부터 2009년 동안 각 지역의 강수량 데이터는 기상청 (<http://www.kma.go.kr>)으로부터 획득하였으며, premonsoon (4, 5, 6월), monsoon (7, 8월), postmonsoon (9, 10, 11월)의 계절적요소와 미환경부 (US EPA, 1996) 기준에 의한 영양상태에 따른 변화를 분석하였다. 각 수질변수(총인, 총질소, 전기전도도, pH, Chl-a)는 SPSS (ver. 18.0) 통계패키지를 사

용하여 상관관계 (correlation) 분석을 수행하였다.

결과 및 논의

1. 저수지의 부영양상태 및 강우유형

각 저수지들은 미환경부 (US EPA, 1996)의 총인 (TP)에 따른 영양상태 분류기준에 의거하여 총인 값이  $10 \mu\text{g L}^{-1}$  이하를 나타내는 빈영양상태 (Oligotrophic)의 2개 저수지,  $10 \sim 20 \mu\text{g L}^{-1}$ 를 나타내는 중영양상태 (Mesotrophic)의 5개 저수지,  $20 \mu\text{g L}^{-1}$  이상을 나타내는 부영양상태 (Eutrophic)의 14개 저수지로 분류되었다 (Fig. 1). 빈영양상태로 분류된 저수지는 예당지 1 (YD1)과 예당지 2 (YD2)였으며, 이들 저수지의 총인 (TP) 농도는  $9.3 \sim 9.4 \mu\text{g L}^{-1}$ 를 나타내었다 (Fig. 1). 또한 이들 저수지는 8월 ( $14.8 \mu\text{g L}^{-1}$ ), 9월 ( $11.5 \mu\text{g L}^{-1}$ )을 제외한 대부분의 계절에서 빈영양상태로 나타났으며 (Fig. 2), 이는 몬순기인 7월 동안 과도한

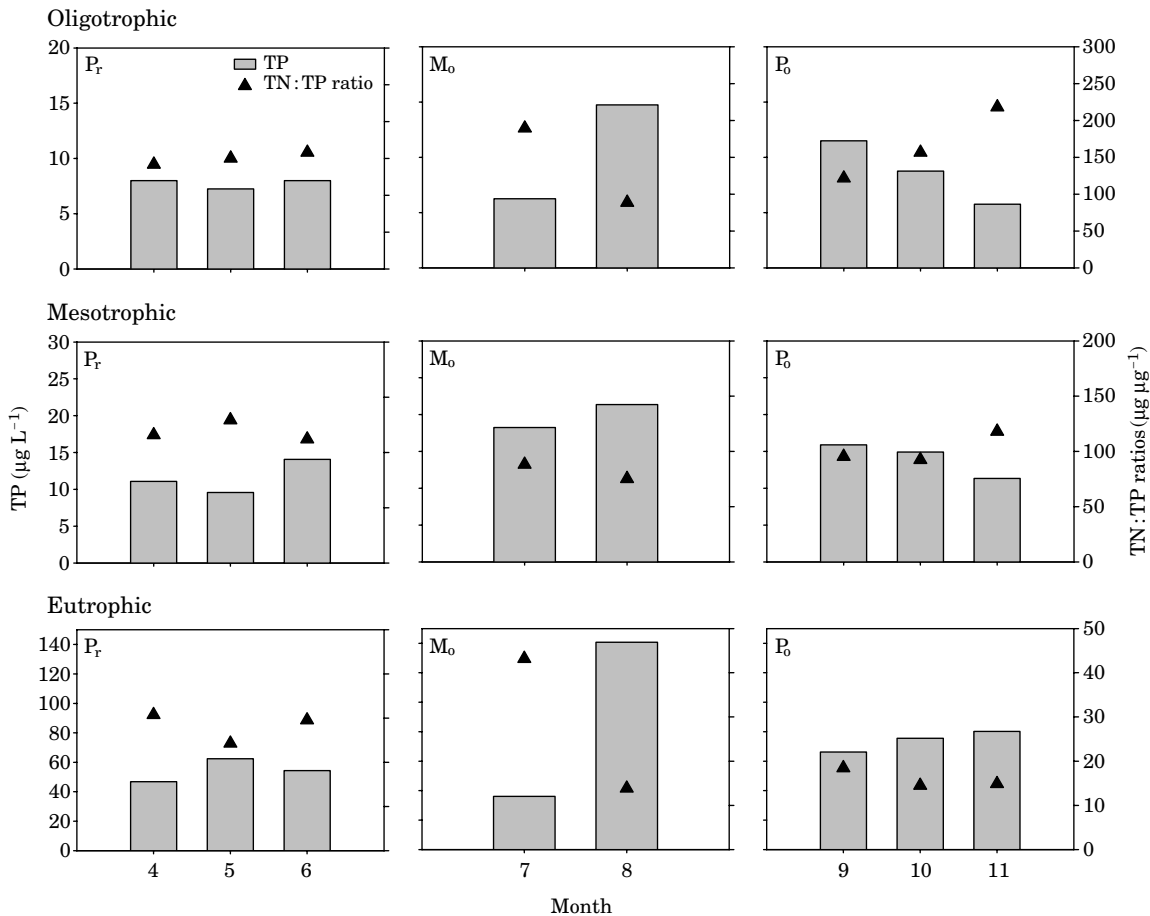


Fig. 2. Trophic classifications, based on TP and TN:TP mass ratios during premonsoon (Pr, April ~ June), monsoon (Mo, July ~ August), and postmonsoon (Po, September ~ November).

총인의 유입이 저수지 내에서 부하에 영향을 끼침으로써 8월과 9월의 부영양상태를 야기하는 것으로 생각되어진다. 한편, 7월의 낮은 총인 농도는 장마기간 동안의 집중된 강우와 짧은 수 체류 시간에 의한 희석효과가 나타났기 때문인 것으로 사료된다. 부영양 저수지가 위치하는 지역의 7월의 평균 강우량은 350 mm 이상으로 년 간 강우량 1,100 mm의 1/3 가량이 이시기에 집중되어 저수지 내 영양염의 체류시간을 감소시키는 것으로 나타났다. 중영양상태의 저수지는 대청호 1 (DC1), 대청호 2 (DC2), 대청호 3 (DC3), 대청호 4 (DC4), 보령호 1 (BR1), 보령호 2 (BR2), 보령호 3 (BR3), 부안호 (BA1), 부안호 2 (BA2), 부안호 3 (BA3), 용담댐 3 (YD3), 용담댐 4 (YD4)로 나타났으며, 각 저수지들의 총인의 범위는 10.3~19.2  $\mu\text{g L}^{-1}$  이었다 (Figs. 1, 2). 이들 저수지들은 8월에 총인의 농도가 22.3  $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 부영양상태를 보였으며, 5월에는 8.9  $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 빈영양상태, 나머지 계절에는 10.2~19.1  $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 중영양상태를 보였다. 7월에서 9월 사이의 높은 총인 농도 (18.9~

22.3  $\mu\text{g L}^{-1}$ )는 몬순기의 강우에 의한 외부유입에 의한 증가와 저수지 내에 기존에 존재하고 있던 총인의 내부부하에 의한 영향 때문으로 사료되었다. 간월호 1 (GW1), 간월호 2 (GW2), 간월호 3 (GW3), 경천지 1 (KC1), 경천지 2 (KC2), 대청호 5 (DC5), 부남호 1 (BN1), 부남호 2 (BN2), 부남호 3 (BN3), 탑정지 1 (TJ1), 탑정지 2 (TJ2), 예당지 1 (YE1), 예당지 2 (YE2), 예당지 3 (YE3)은 부영양상태로 나타났다 (Fig. 1), 이들 저수지들의 총인 농도 범위는 38.9 ~ 117.1  $\mu\text{g L}^{-1}$ 를 보였으며 (Fig. 2), 모든 계절에서 부영양상태를 나타내는 것으로 확인되었다. 특히, 8월의 총인 값은 전체 평균값인 117.1  $\mu\text{g L}^{-1}$ 보다도 약 2배 이상 높은 것으로 나타났으며, 이것은 부영양상태 저수지와 중영양상태의 저수지와 마찬가지로 강우에 의한 외부유입 요인과 수표면 층과 심층의 뒤섞임으로 인한 강한 내부부하 때문으로 판단된다. 한편, 모든 저수지에서의 계절별, 연별 총질소의 평균 값은 각각 1.0과 1.7  $\text{mg L}^{-1}$ 를 상회하고 있었다 (Figs. 1, 3). 질소원은 년 중 저수지 내에 다량으로 존

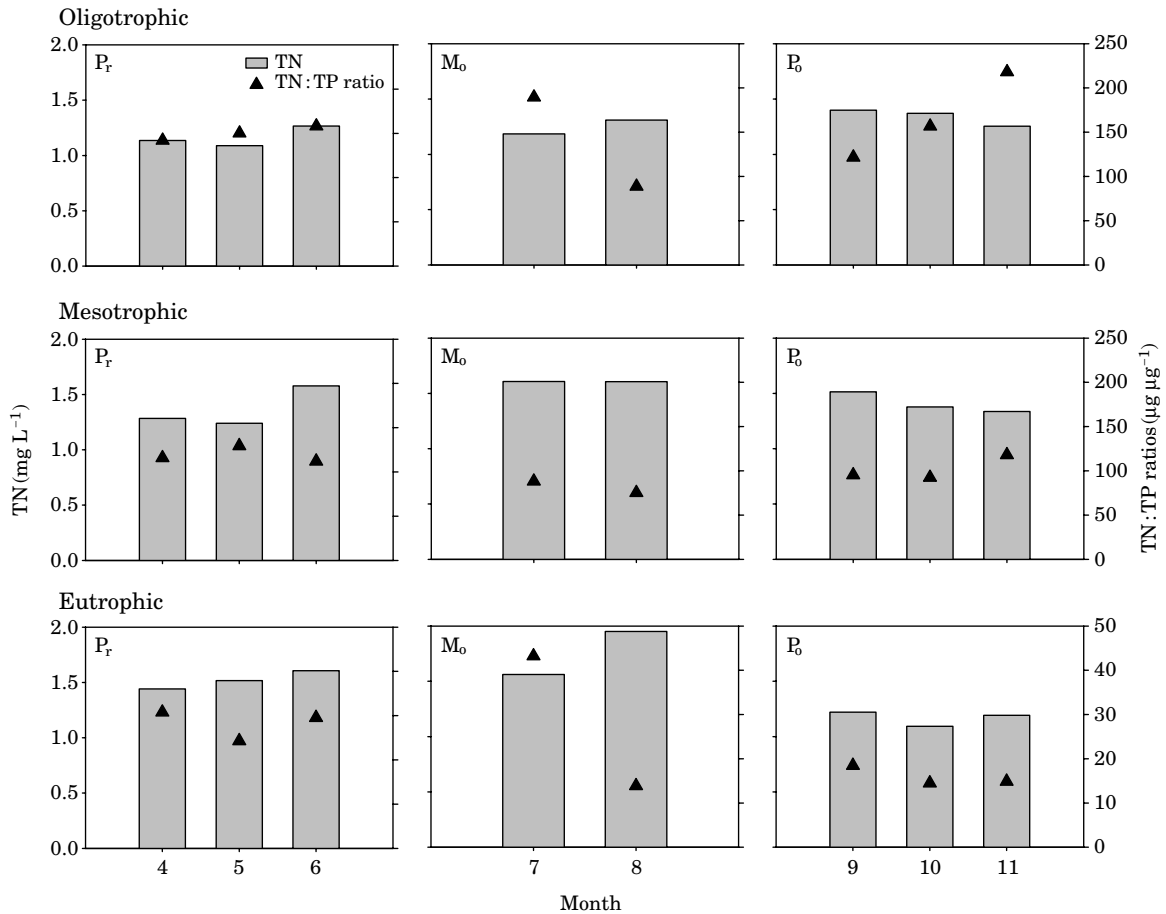


Fig. 3. Trophic classifications, based on TN and TN : TP mass ratios during premonsoon (P<sub>r</sub>), monsoon (M<sub>o</sub>), and postmonsoon (P<sub>o</sub>).

재하는 것으로 나타났고, 강우 집중에 따른 외부유입과 희석효과도 인에 비해 미미한 수준으로 나타났다. 따라서 저수지들의 계절별 영양상태의 변화는 강우패턴과 희석효과에 의한 총인의 변동이 큰 요인인 것으로 판단되었다.

2. 영양상태에 따른 수질 특성

빈영양상태와 중영양상태의 전기전도도 값은 모든 계절 동안 유의성을 나타내지 않았으며, 이들의 평균값은 각각 88.8~106.3와 94.8~101.6  $\mu\text{S cm}^{-1}$ 를 보였다 (Fig. 4). 이들 저수지들은 몬순기 동안의 강우에 의한 희석효과는 없는 것으로 판단되었다. 그러나 이들 저수지와는 달리 부영양상태의 저수지들은 전 계절을 통해 급격한 변화양상이 관찰되었다. 특히, 8월은 강한 희석효과가 관찰되었으며 이 시기의 전기전도도 값은 990.3  $\mu\text{S cm}^{-1}$ 으로서 7월의 1892.8  $\mu\text{S cm}^{-1}$ 에 비해 절반까지 감소되었다. 이러한 현상의 이유는 저수지 수위 조절을 위한 대량의 내부부하 물질을 포함하고 있는 심층수 방류의 1차 요인

과 1차 생산자(phytoplankton, microalgae)의 급격한 증가에 따른 영양염 고갈의 2차 요인 때문으로 사료되었다 (Kim *et al.*, 1997; Kim *et al.*, 2007). 실질적으로 8월의 Chl-*a* 값은 중영양상태와 부영양상태의 저수지에서 모두 급격한 증가를 보이고 있어, 외부로부터 유입된 영양염과 내부에 존재하던 영양염 모두 이들 1차 생산자의 생장에 이용되었을 것으로 판단되어진다. 우리나라 부영양상태의 저수지들에서 하계에 나타나는 1차 생산자에 의한 빈번한 수화현상(bloom)은 이를 뒷받침하는 증거라 볼 수 있다(Kim *et al.*, 2007). Chl-*a* 값은 전기전도도 값에 비해 모든 영양상태에서 커다란 계절적 변이를 보였으며, 그 양상은 총인 값의 변동과 유사하였다(Fig. 5). 이것은 Lee *et al.* (2007)에 의한 농업용 저수지 수질특성에 관한 이전의 연구와 유사한 결과를 나타내었다. 그러나 각 영양상태 사이에서 Chl-*a*의 변이 양상의 유사성은 관찰되지 않았다. 빈영양상태와 부영양상태의 저수지들은 10월을 제외하고 강우패턴과 총인 값은 유사한 곡선을 보였으

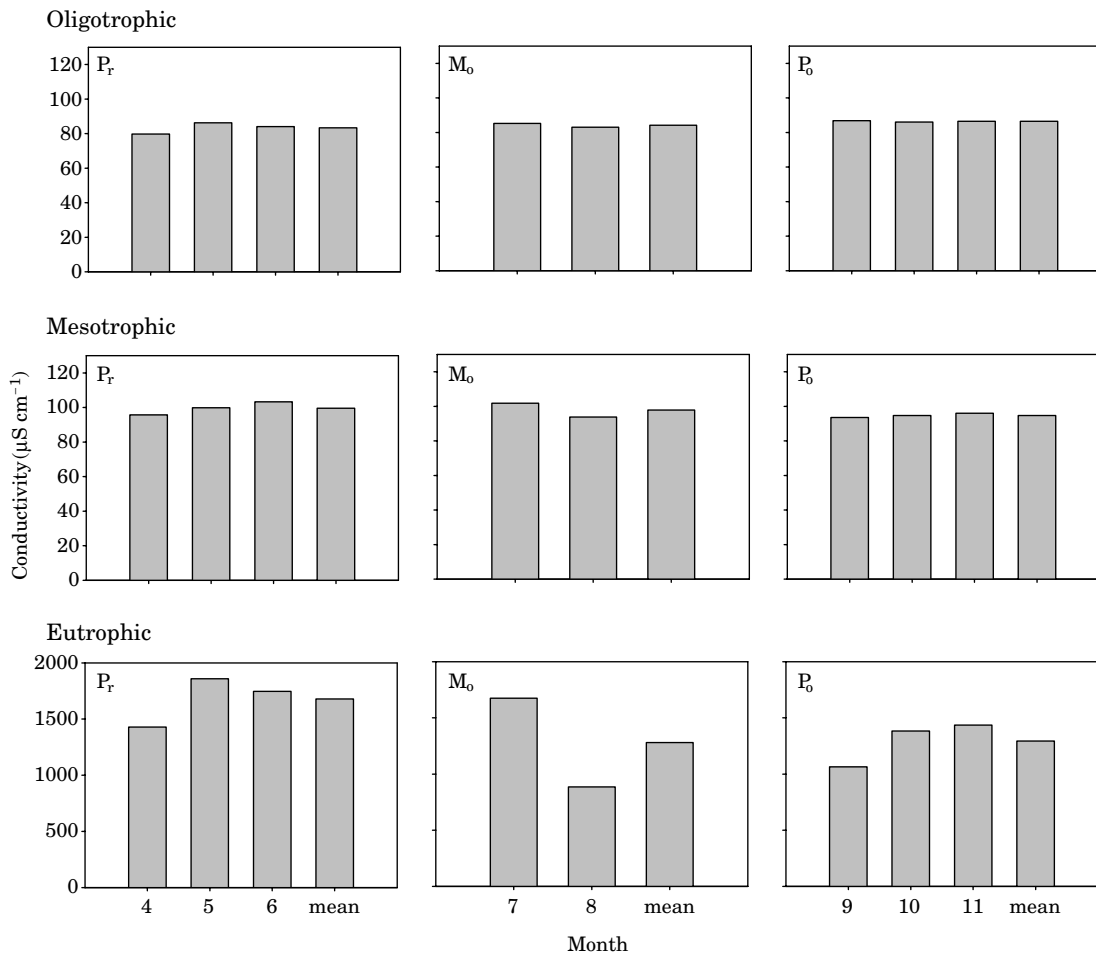


Fig. 4. Fluctuations of seasonal conductivity during premonsoon (Pr), monsoon (Mo), and postmonsoon (Po).

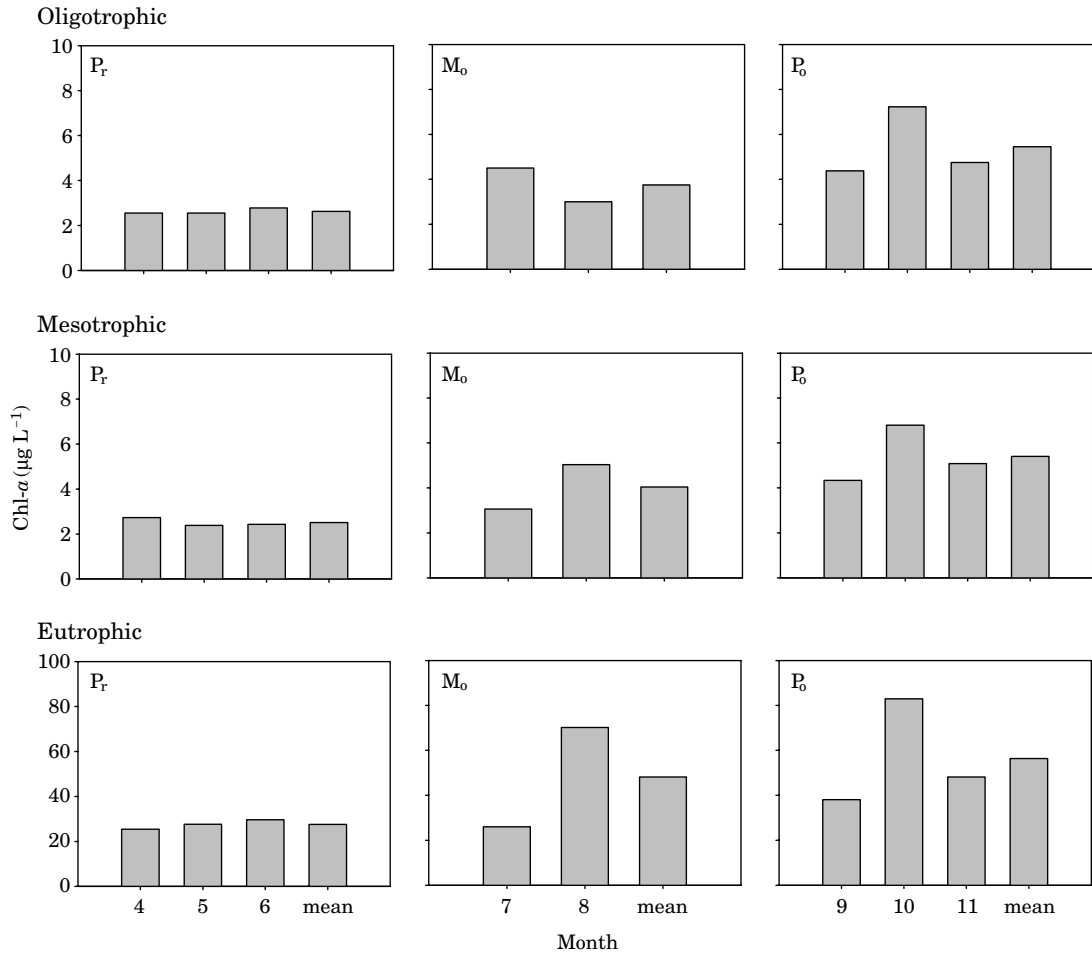


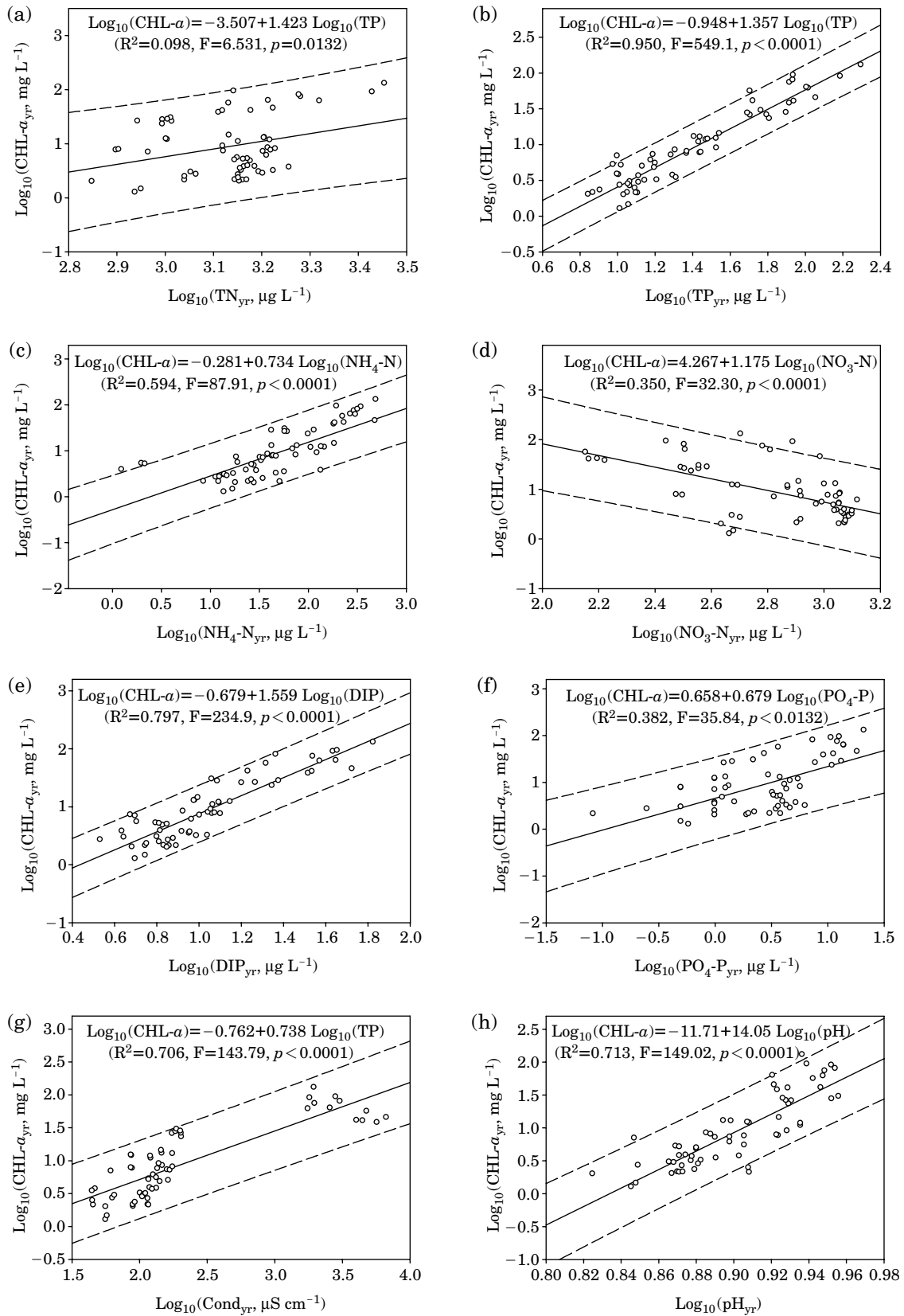
Fig. 5. Trophic classifications of Chl-a during premonsoon (Pr), monsoon (Mo), and postmonsoon (Po).

나, 중영양상태의 저수지들은 유의성을 나타내지 않았다. 한편, 8월의 급격히 증가한 총인의 값은 1차 생산자의 주요 생장요인으로 작용하여 Chl-a 값의 증가를 유도하는 것으로 나타났으나, 10월은 8월에 비해 낮은 총인의 값을 나타냈음에도 8월에 비해 높은 Chl-a 값이 관찰되었다. 이는 강우기가 끝난 후인 9월과 10월의 두 달에 걸쳐 수체류 시간의 증가와 회석효과의 감소로 인해 저수지 내 내부부하가 서서히 진행되다가 10월에 1차 생산자의 급격한 생장이 이루어짐으로써 Chl-a 값의 급격한 반등이 이루어졌을 것으로 판단된다.

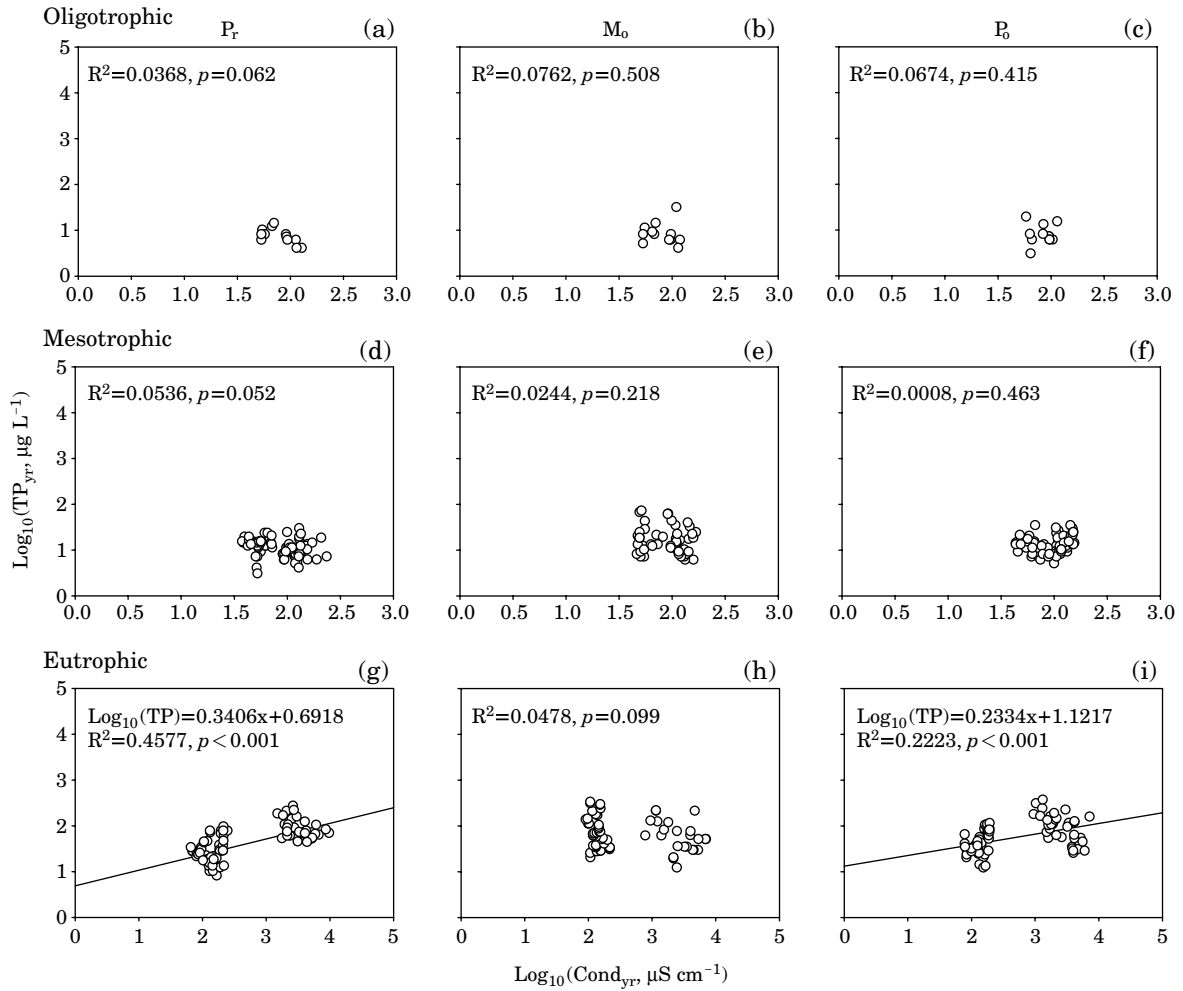
3. 수질변수에 따른 Chl-a와의 상관성 분석 및 예측 회귀식 유도

2008년과 2009년 각각의 저수지에서의 수질변수의 연평균값 (n=62)에 의한 상관분석 (Regression analysis) 결

과 (Fig. 6), 총질소와 Chl-a의 경험적 모델에서는 총질소가 Chl-a를 9.8% 수준 이하에서 밖에 설명을 하고 있지 못하고 있었으며 (Fig. 6a), 암모니아성질소(NH<sub>4</sub>-N)와 질산성질소(NO<sub>3</sub>-N) 또한 60% 이하 수준에서만 설명 가능한 것으로 나타나 질소에 의한 Chl-a의 예측 수준은 떨어지는 것으로 나타났다 (Fig. 6c, d). 이에 반해, 총인과 Chl-a의 경험적 모델에서는 총인은 Chl-a를 95% 이상 설명이 가능한 것으로 나타났으며 (Fig. 6b), 용존무기인 (DIP, Dissolved Inorganic phosphorus)과의 관계 역시 80% 이상 설명이 가능한 것으로 나타나고 있었다 (Fig. 6e). 그러나 인산염 (PO<sub>4</sub>-P)은 다른 총인과 용존무기인 (DIP)과는 달리 낮은 설명 수준을 보이고 있었다 (Fig. 6f). 한편, 전기전도도는 70.6%의 Chl-a 변이를 설명해 Chl-a(1차 생산력 지표)를 예측하는데 있어 총인과 마찬가지로 좋은 변수로 추정되었다 (Fig. 7g). 이는 일반적으로 총인은 샘플 채취와 분석에 시간과 비용이 많이 소요되나, 이에 반해



**Fig. 6.** Regression analysis of annual mean chlorophyll-*a* (CHL-*a*<sub>yr</sub>) against annual mean of trophic variables and others.



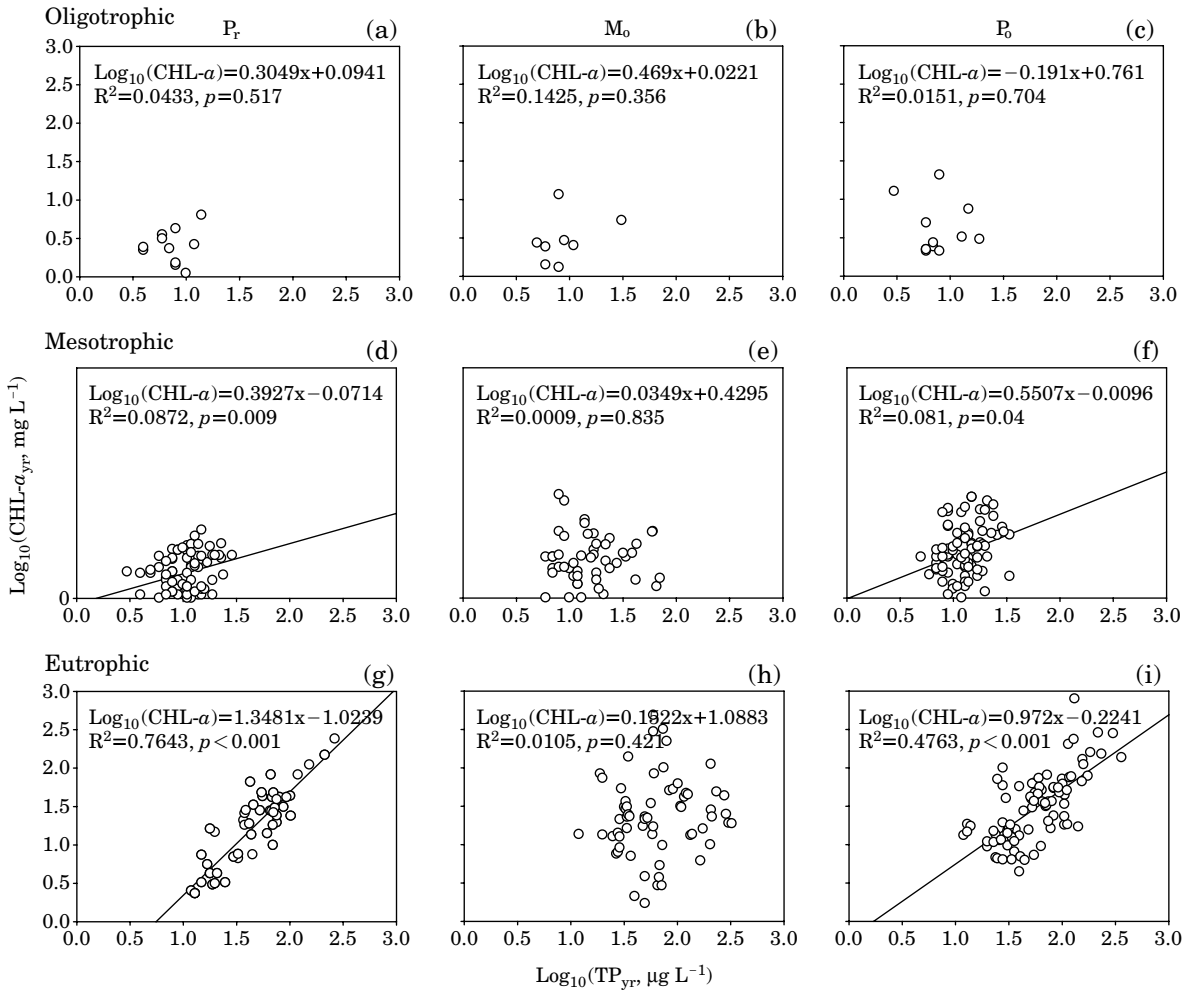
**Fig. 7.** Empirical relations of annual mean total phosphorus ( $TP_{yr}$ ) to annual mean conductivity ( $Cond_{yr}$ ) during premonsoon ( $P_r$ ), monsoon ( $M_o$ ), and postmonsoon ( $P_o$ ).

전기전도도는 휴대용 분석기를 통해 간단히 측정할 수 있는 장점이 있어 *Chl-a*의 변이를 추정하는데 좋은 변수로 이용될 수 있음을 시사하였다. 이를 바탕으로 저수별 영양상태와 계절에 따른 예측 회귀식을 추정하고자 총인과 전기전도도, *Chl-a* 사이의 연관성을 분석하였으며, 그 결과는 Fig. 8과 9와 같다. 전기전도도 값에 의거한 총인의 회귀식은 빈영양상태와 중영양상태의 저수지들 사이에서는  $p$ 값이 0.05 이상으로 나타나 두 변수간의 상관성은 없는 것으로 나타났으나 (Fig. 7a-f), 부영양상태의 저수지들은 강우전기와 강우후기에  $p$ 값이 각각 0.001 이하로 95% 유의수준에서 상관성을 갖는 것으로 나타났다. 그러나 강우전기와 강우후기는  $R^2$  값이 각각 0.4577과 0.2223으로  $p$ 값에 대해 약 50%와 20%를 설명 가능한 것으로 나타났다 (Fig. 8g, i). 강우기는 짧은 수체류 시간

으로 희석효과가 강하게 일어나는 시기로써 모든 저수지들에 대해 두 변수간의 유의성은 전혀 없는 것으로 나타났다. 따라서, 50% 설명 가능한 유의한 수준에서 전기전도도값과 총인은 부영양상태의 저수지의 강우전기에만 상관성이 존재하는 것으로 판단되었으며, 강우기와 강우후기에는 두 변수 간에 상관성이 거의 없는 것으로 나타나 전기전도도를 이용한 총인의 변이 추정과 1차 생산력의 간접 예측은 매우 제한적일 것으로 사료되었다.

한편, *Chl-a*와 총인의 회귀식은 부영양상태의 저수지들에서 강우전기와 강우후기에 적용이 가능할 것으로 나타났다. 빈영양상태의 저수지들은 모든 계절에서 0.05 이상의 높은  $p$ 값을 보였으며 (Fig. 8a-c), 이로 인해 *Chl-a*와 총인의 회귀식은 성립하지 않는 것으로 나타났다. 중영양상태의 저수지들에서 강우전기와 강우후기는 각각 0.009





**Fig. 8.** Empirical models of log-transformed annual mean chlorophyll-a ( $\text{CHL-}a_{\text{yr}}$ ) against log-transformed annual mean total phosphorus ( $\text{TP}_{\text{yr}}$ ).

와 0.04의 낮은  $p$ 값을 보였으나  $R^2$  값은 0.0872와 0.081로 나타나 두 변수간의 회귀식을 10% 미만으로만 설명이 가능한 것으로 나타나 총인에 의한  $\text{Chl-}a$ 의 변이 예측이 어려운 것으로 판단되었다 (Fig. 8d, f). 한편, 부영양상태의 저수지에서는 강우전기와 강우후기 각각  $p$ 값이 0.001 이하를 보였으며,  $R^2$  값이 0.7643과 0.4763으로 회귀식에 대해 약 50% 이상의 설명이 가능한 것으로 나타났다 (Fig. 8g, i). 따라서 총인에 의한  $\text{Chl-}a$ 의 예측은 부영양상태 저수지의 강우전기와 강우후기에서 적용이 가능한 것으로 판단되었으며, 전기전도도에 의한  $\text{Chl-}a$  예측보다는 덜 제한적인 것으로 나타났다. 한편, 월별 변이 특성에서 7월에 총인과 용존무기인의 양은 최대를 나타내고 있으나,  $\text{Chl-}a$ 는 7월에서 9월 사이에 급격히 감소되는 것으로 나타났으며 (Fig. 9), 이는 하절기에는 외부유

입과 내부부하 등으로 총인의 양이 급격히 증가하나 1차 생산력 ( $\text{Chl-}a$ )은 오히려 장마기간 동안의 빠른 수체류시간 (Washing-out 현상)과 외부로부터 유입된 무기현탁물에 의한 광투과도 저하에 의해 크게 영향받기 때문으로 사료되었다. 이러한 현상은 연평균에 따른 상관분석에서 총인의 연평균값은  $\text{Chl-}a$ 의 변이에 대해 95% 이상 설명하고 있으나, 영양상태와 계절에 따른 상관분석에서는 변이에 대해 최대 76%만이 설명이 가능하게 나타나게 되는 주요 원인으로 사료된다.

따라서, 본 연구결과 전기전도도와 총인은  $\text{Chl-}a$ 의 연간 변동 추이를 예측하는데 있어서는 적용성이 높게 나타난 반면, 영양상태와 계절과 같은 특이적 상황에서의 적용에 있어서는 제한적으로 적용이 가능한 것으로 사료되었다.

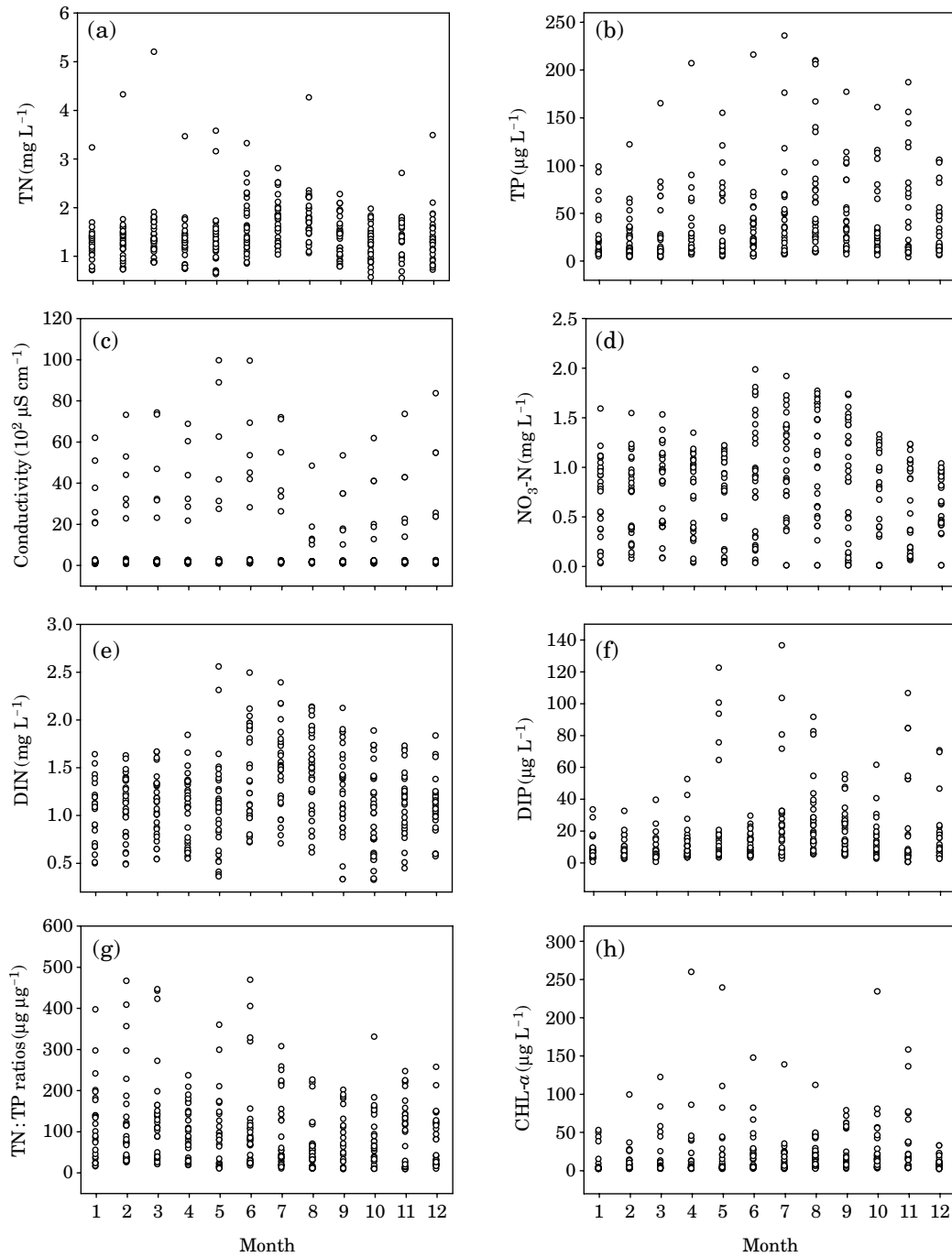


Fig. 9. Seasonal patterns of water quality parameters during the study.

적 요

본 연구에서는 금강수계의 저수지들의 공간적 계절적 영양상태를 분류하였으며, Chl-a와 전기전도도와 총인 등

의 수질 변수들간의 상관관계를 분석하였다. 금강수계의 각 저수지들은 총인 값에 따라 2개의 빈영양상태와 15개의 중영양상태, 14개의 부영양상태로 분류되었으며, 각각의 총인 값은 9.3~9.4 µg L<sup>-1</sup>, 10.3~19.2 µg L<sup>-1</sup>, 38.9~117.1 µg L<sup>-1</sup>로 나타났다. 전기전도도, 총인, Chl-a는 강우

특성을 반영하였으며, 연평균 총인 값은 연평균 Chl-*a* 값과 유사한 변이 패턴을 보였다. 한편, 총인에 의한 Chl-*a*의 회귀식은 몇 개의 계절과 영양상태에서 유의성을 나타내었으며, 이는 계절적 강우에 의한 희석효과로 인한 결과로 사료되었다.

## 사 사

본 연구는 환경부 수생태복원사업단 Eco-STAR project [과제명: 호수생태계 통합적 건강성 평가기법 개발]의 지원으로 수행되었기에 이에 감사를 포함합니다.

## 인 용 문 헌

- An, C.Y., H.S. Kim, B.D. Yoon and H.M. Oh. 2003. Influence of rainfall on cyanobacterial bloom in Daechung reservoir. *Korean Journal of Limnology* **36**(4): 413-419.
- An, K.G. and I.C. Shin. 2005. Influence of the Asian monsoon on seasonal fluctuations of water quality in a mountainous Stream. *Korean Journal of Limnology* **38**(1): 54-62.
- An, K.G., J.W. Seo and S.S. Park. 2001. Influences of seasonal rainfall on physical, chemical and biological conditions near the intake tower of Taechung reservoir. *Korean Journal of Limnology* **34**(4): 327-336.
- Faithful, J.W. and D.J. Griffiths. 2000. Turbid folw through a tropical reservoir (Lake Dalymplpe, Queensland, Australia): Reponses to summer storm event. *Lake & Reservoir Management* **5**: 231-247.
- Kim, B.C., E.K. Kim, D.J. Pyo, H.D. Park and W.M. Heo. 1995. Toxic cyanobacterial blooms in Korean lakes. *Journal of the Korean Society on Water Quality* **11**(3): 231-237.
- Kim, B.C., K.S. Choi, C.G. Kim, U.H. Lee, D.S. Kim and J.C. Park. 1997. The distribution of dissolved and particulate organic carbon in Lake Soyang. *Korean Journal of Limnology* **31**(1): 17-24.
- Kim, M.K., S.H. Lee and C.H. Lee. 2007. Changes of dominant species of phytoplanktons and hydrological causes of water bloom in the lake Unmun, Cheongdo-gun, Gyeongsangbuk-do. *Algae* **22**(4): 261-271.
- Kwon, Y.S., M.J. Bae, S.J. Hwang and Y.S. Park. 2008. Application of Particle Swarm Optimization (PSO) for prediction of water quality in agricultural reservoirs of Korea. *Korean Journal of Limnology* **41**(S): 11-20.
- Lee, J.Y., J.H. Lee, K.H. Shin, S.J. Hwang and K.G. An. 2007. Trophic state and water quality characteristics of Korean agricultural reservoirs. *Korean Journal of Limnology* **40**(2): 223-233.
- Oh, H.M., S.J. Lee, S.B. Kim, M.K. Park, B.D. Yoon and D.H. Kim. 1998. Determination of limiting nutrient for algal growth bv algal bioassay. *Korean Journal of Limnology* **31**(2): 150-156.
- US EPA. 1996. National Primary Drinking Water Regulations: Monitoring Requirements for Public Drinking Water Supplies: Final Rule. pp. 24353-24388.

(Manuscript received 20 January 2012,  
Revised 10 March 2012  
Revision accepted 10 March 2012)