

## 농업용저수지 수질인자간 상관성 및 회귀분석

# Correlations and Regression Analysis Between Reservoir Water Quality Parameters

최 은 희\*      박 영 석\*\*

Choi, Eun Hee · Park, Young Suk

### Abstract

In order to effectively manage the reservoir, reservoir water quality management should be based on physicochemical and configurational characteristics. In this research, correlation between factors affecting the reservoir water quality was examined. Chl-a and COD shows the highest positive correlation. Chl-a and T-P also has a high positive correlation, however Chl-a and T-N show lower correlation relatively. Even though T-N is an important factor for phytoplankton growth which increase Chl-a concentration, corelation of Chl-a and T-N shows that enough nitrogen in the reservoir isn't no longer limiting factor. The age of reservoir can cause of increasing COD and SS. Embankment height and elevation of reservoirs shows strong negative correlation to water quality. That means reservoir which is higher embankment height and locate in higher elevations is less contaminated. Regression expression was derived with Chl-a and water quality parameters, and height of reservoir. Finally Chl-a was simulated using regression expression and it was a good approach to predict the Chl-a concentration.

### I. 서 론

농업용저수지의 수질을 관리하기 위해서는 모니터링을 통한 개개의 저수지 특성을 파악하고, 그 특성에 따른 저수지의 관리가 필요하다. 그러나 우리나라에 있는 모든 저수지를 효율적으로 모니터링하고 관리하기란 현실적으로 매우

어려운 일이다. 따라서 이들 저수지들의 이화학적, 형상적 특성을 분석하고, 그 특성에 따른 농업용저수지의 수질 예측관리가 필요하다.

이 등(2007)은 농업용 저수지 내에서 수질변이의 특성을 파악하기 위해 영양염류와 조류 생산력의 관계를 분석하였으며, 전 등(2002)은 우리나라 농업용 저수지에서 물리학적 인자의

\*한국농어촌공사 농어촌연구원 주임연구원 (ehchoi@ekr.or.kr)  
\*\*경희대학교 생물학과 교수 (parkys@khu.ac.kr)

키워드 : regression analysis, correlation coefficient, reservoir water quality

영향에 대한 연구를 하였다. Harper (1992)에 따르면 저수지 내 제한 영양염인 인의 유입 증가는 저수지 부영양화를 발생시킨다. 저수지 부영양화는 저수지 내 식물플랑크톤을 증가시켜 저수지 투명도를 감소시키고, 저층의 식물플랑크톤 부패로 용존산소가 감소하는 등의 수질 변화를 초래한다(신 등, 2002). 또한 저수지의 부영양화는 저수지 내 투명도, 총인 농도, Chl-aorophyll-a (Chl-a) 농도와 밀접한 관계를 가지고 있으며, 이들 환경 인자는 저수지의 영양상태를 분류하는 기준으로 사용된다(Carlson, 1977).

농업용저수지들은 완공 후 시간이 경과할수록 유입되는 토사나 오염물질이 증가하기 때문에 저수지의 부영양화를 유발할 가능성이 높아진다. 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, 윤 등 2007). 이와 같이 수질이 유역 내의 토지이용의 유형에 영향을 받는 것은 강우에 의한 표면 유출이 하천과 저수지로 영양염류를 포함하는 오염물질을 이동시키기 때문이다.

저수지 수질은 경험적 모델에 의한 예측이 가능한데, 경험적 모델중 회귀모델은 이해와 해석이 쉽고, 예측에 대한 설명력이 가능한 장점이 있어 폭넓게 적용되고 있는 방법으로 박과 안(2007)은 우리나라 인공호의 수질 변수를 이용한 경험적 모델연구에서, 수질 변이 간의 상관관계를 알아보기 위해 회귀 분석을 이용하였다. Sakamoto (1966)도 일본의 호소에서 질소와 인의 농도 및 조류의 생산이 양적으로 어떠한 관계가 있는지 해석하기 위해 T-

P-Chl-a, 투명도(SD)-TP, SD-Chl-a간의 경험적 모델을 개발하여 영양상태 평가 및 예측에 이용하였고 이를 기반으로 북미 및 유럽에서는 많은 자체적 경험적 모델을 개발하였다.

본 연구에서는 농업용저수지의 수질을 예측하기 위해 저수지 수질인자, 형상 및 유역특성 간의 상관관계를 분석하였다. 또한 회귀모델을 이용하여 이들 상관관계를 평가하고, 회귀식을 검증하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 저수지 수질, 형상 및 유역특성 자료

저수지 수질자료는 전국 호소수질측정망 자료 526개 지점 중 농업용수로 사용되는 저수지 474개 지점의 자료를 활용하였다. 수질측정망 자료는 1999년부터 지역에 따라 연 2회~4회 조사가 되고 있는데, 2001년부터 2007년까지는 동일한 저수지에 대해 수질측정이 이루어 졌으나 2008년 이후 측정망대상 저수지가 계속 증가하여 2010년에는 825개에 이르고 있다. 따라서 본 연구에서는 연구대상의 동일화를 위해 2006년 및 2007년의 조사 자료를 사용하였으며, 회귀모델 개발에는 2007년 자료를 활용하였고, 회귀모델의 검증은 2006년 자료를 활용하였다. 측정망 자료에는 수온, pH, 용존산소(DO), 전기전도도(EC), 생물화학적산소요구량(BOD), 화학적산소요구량(COD), 부유물질(SS), 총질소(T-N), 총인(T-P), 엽록소-a(Chl-a) 등이 포함되었다.

저수지 수질은 저수지의 형상 및 유역 특성에 따라서도 변동하므로 본 연구에서는 저수지의

만수면적, 유역면적, 총저수량, 유효저수량, 제당높이, 제당길이, 제당표고, 준공 후 기간(나 이)를 수질특성과 연관성 분석에 활용되었다.

## 2. 자료분석

자료분석은 계절별로 지역에 따른 특성을 비교하고, 이화학적 수질인자와 저수지 형상 및 유형특성간의 관계에 대하여 상관관계분석을 하였으며, 상관관계는 회귀식을 이용하여 평가하였다.

자료간의 상관관계는 상관계수를 이용해 연관성을 파악할 수 있으며, 변수 Y와 X사이의 상관계수는 다음과 같이 정의된다.

$$r = \frac{\sum(y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{\sqrt{\sum(y_i - \bar{y})^2 \sum(x_i - \bar{x})^2}} \quad (\text{식 1})$$

상관계수는 항상 -1부터 1까지의 값을 가지며, 두 변수간의 관계에서 방향성과 강도를 알아보는데 기본이 되는 값이다. 상관계수의 값이 ±1에 가까울수록 두 변수간의 상관관계는 더 강하고, 0에 가까우면 두 변수간의 상관관계는 약함을 의미한다.

저수지 수질인자 변동에 따른 오염도 예측은 다중회귀분석을 이용하였다.

다중회귀분석에서 변수들은 다음과 같은 관계로 나타낼 수 있다.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p + \epsilon \quad (\text{식 2})$$

여기서, Y와 X : 변수

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$  : 회귀계수

$\epsilon$  : 오차

p : 자료 수

회귀분석은 선형성, 정규성, 등분산성, 및 독립성과 같은 중요한 가정이 전제되는데, 특히 선형성과 정규성의 가정을 만족하는지 여부는 회귀분석모델의 사용에 중요한 의미를 가진다. 그러므로 회귀분석모델을 사용할 경우 잔차분석을 통해 모형의 가정에 대한 검토를 수행한다.

잔차는 식 3과 같이 표현되는데, 회귀모형의 가정을 만족하기 위해서는  $r_i$ 가 0을 중심으로 특별한 경향없이 무작위로 분포되어 있어야 한다. 흔히 잔차산점도를 그려 분포를 확인하며, 본 연구에서도 잔차산점도를 그려 가정검증을 하였다.

$$r_i = Y_i - \hat{Y}_i \quad (\text{식 3})$$

상관관계분석 및 일반통계분석은 통계프로그램인 Statistica (StatSoft, 2004)를 활용하였다.

## Ⅲ. 결과 및 고찰

### 1. 저수지 수질 예측을 위한 자료분석

표 1은 봄에 저수지 수질인자들 간의 상관관계분석 결과이다. 분석결과 수질인자들은 서로 높은 상관관계를 가지고 있음을 알 수 있다. 특히 Chl-a와 COD가 0.81로 가장 높은 양의 상관관계를 보였으며, Chl-a 및 T-P도 높은 양의 상관성(=0.65)을 보였다. 이들은 통계적으로 유의성을 보였다( $p < 0.05$ ). Chl-a는

Table 1. Correlations Coefficients (*r*) Between Reservoir Water Quality Parameters and Configurations (Spring)

	pH	DO	EC	BOD	COD	SS	T-N	T-P	Chl-a	준공 나이	만수 면적	유역 면적	총저 수량	유효 저수량	제당 높이	제당 길이	제당 표고
pH	1.00	0.21	0.14	0.39	0.30	0.18	0.09	0.16	0.33	0.10	0.05	0.01	0.04	0.03	-0.11	0.01	-0.03
DO	0.21	1.00	0.18	0.29	0.21	0.14	-0.02	0.06	0.20	0.14	0.11	0.04	0.06	0.05	-0.15	0.10	-0.14
EC	0.14	0.18	1.00	0.24	0.30	0.25	0.24	0.32	0.19	0.04	0.46	0.18	0.14	0.15	-0.17	0.32	-0.14
BOD	0.39	0.29	0.24	1.00	0.76	0.55	0.38	0.53	0.65	0.28	0.12	0.08	0.00	-0.04	-0.42	0.13	-0.29
COD	0.30	0.21	0.30	0.76	1.00	0.60	0.50	0.69	0.81	0.34	0.13	0.07	-0.02	-0.05	-0.52	0.18	-0.41
SS	0.18	0.14	0.25	0.55	0.60	1.00	0.36	0.49	0.52	0.32	0.17	0.11	0.04	0.01	-0.46	0.28	-0.32
T-N	0.09	-0.02	0.24	0.38	0.50	0.36	1.00	0.69	0.52	0.12	0.20	0.24	0.09	0.08	-0.29	0.16	-0.23
T-P	0.16	0.06	0.32	0.53	0.69	0.49	0.69	1.00	0.65	0.21	0.31	0.24	0.19	0.15	-0.36	0.29	-0.30
Chl-a	0.33	0.20	0.19	0.65	0.81	0.52	0.52	0.65	1.00	0.20	0.09	0.05	0.01	-0.02	-0.33	0.08	-0.27

T-N과는 상대적으로 낮은 상관성(=0.52)을 보였다. Chl-a를 증가시키는 식물플랑크톤의 성장에 T-N이 중요한 인자임에도 상관성이 낮게 나오는 것은 T-N이 저수지내에 충분히 존재하여 제한요인으로 작용하지 않기 때문으로 사료된다. 이 등(2002)의 소양호 연구에서 Chl-a 농도변화는 T-P 농도와 0.82의 상관관계를 가지지만 T-N은 Chl-a의 변이를 거의 설명할 수 없었다는 결과를 제시하였는데 이는 본 연구에서 도출된 결과와 유사함을 알 수 있다.

한편 저수지의 준공나이와 제당높이 등과 같은 형상이 저수지 수질에 미치는 영향에 대해

분석한 결과 유역면적, 총저수량, 유효저수량은 저수지 수질과 낮은 상관관계를 보였고, 저수지 완공 후 나이는 COD 및 SS를 증대시키는 요인이 될 수 있는 것으로 양의 상관관계(=0.34, 0.32)를 보였다. 그리고 수질은 제당높이 및 제당표고와는 강한 음의 상관관계(=-0.32 ~ -0.63)를 보여 제방높이가 높고 표고가 높은 곳에 있는 저수지는 수질오염이 낮은 것으로 반영된다. 이는 앞서 살펴본 사전연구들의 결과와 일치하는 것으로 표고가 높은 곳에 있는 저수지는 유역이 산림 등으로 구성되어 유입되는 오염원이 적기 때문으로 판단된다. 또한 저수지 완공 후 나이가 오래 될수록

Table 2. Correlations Coefficients (*r*) Between Reservoir Water Quality Parameters and Configurations (Summer)

	pH	DO	EC	BOD	COD	SS	T-N	T-P	Chl-a	준공 나이	만수 면적	유역 면적	총저 수량	유효 저수량	제당 높이	제당 길이	제당 표고
pH	1.00	0.36	0.14	0.19	0.16	0.07	0.10	-0.01	0.14	0.09	0.20	0.14	0.12	0.13	-0.10	0.22	-0.13
DO	0.36	1.00	-0.09	0.05	-0.02	-0.05	-0.09	-0.22	0.00	-0.11	0.04	0.10	0.02	0.02	0.11	-0.03	0.10
EC	0.14	-0.09	1.00	0.35	0.44	0.22	0.28	0.40	0.44	0.16	0.03	-0.09	-0.09	-0.10	-0.42	0.38	-0.33
BOD	0.19	0.05	0.35	1.00	0.73	0.38	0.06	0.40	0.61	0.32	-0.02	-0.07	-0.14	-0.14	-0.48	0.04	-0.31
COD	0.16	-0.02	0.44	0.73	1.00	0.53	0.31	0.67	0.82	0.35	0.04	-0.08	-0.12	-0.13	-0.55	0.18	-0.42
SS	0.07	-0.05	0.22	0.38	0.53	1.00	0.34	0.59	0.52	0.23	0.00	-0.07	-0.09	-0.09	-0.31	0.08	-0.22
T-N	-0.10	-0.09	0.28	0.06	0.31	0.34	1.00	0.64	0.39	0.04	0.08	0.08	0.00	0.01	-0.17	0.10	-0.10
T-P	-0.10	-0.22	0.40	0.40	0.67	0.59	0.64	1.00	0.70	0.30	0.11	0.02	-0.04	-0.04	-0.46	0.17	-0.37
Chl-a	0.14	0.00	0.44	0.61	0.82	0.52	0.39	0.70	1.00	0.22	0.06	-0.01	-0.06	-0.06	-0.3	0.13	-0.31

Table 3. Correlations Coefficients (r) Between Reservoir Water Quality Parameters and Configurations (Autumn)

	pH	DO	EC	BOD	COD	SS	T-N	T-P	Chl-a	준공 나이	만수 면적	유역 면적	총저 수량	유효 저수량	제당 높이	제당 길이	제당 표고
pH	1.00	0.36	0.14	0.19	0.16	0.07	-0.10	-0.01	0.14	0.09	0.20	0.14	0.12	0.13	-0.10	0.22	-0.13
DO	0.36	1.00	-0.09	0.05	-0.02	-0.05	-0.09	-0.22	0.00	-0.11	0.04	0.10	0.02	0.02	0.11	-0.03	0.10
EC	0.14	-0.09	1.00	0.35	0.44	0.22	0.28	0.40	0.44	0.16	0.03	-0.09	-0.09	-0.10	-0.42	0.38	-0.33
BOD	0.19	0.05	0.35	1.00	0.73	0.38	0.06	0.40	0.61	0.32	-0.02	-0.07	-0.14	-0.14	-0.48	0.04	-0.31
COD	0.16	-0.02	0.44	0.73	1.00	0.53	0.31	0.67	0.82	0.35	0.04	-0.08	-0.12	-0.13	-0.55	0.18	-0.42
SS	0.07	-0.05	0.22	0.38	0.53	1.00	0.34	0.59	0.52	0.23	0.00	-0.07	-0.09	-0.09	-0.31	0.08	-0.22
T-N	-0.10	-0.09	0.28	0.06	0.31	0.34	1.00	0.64	0.39	0.04	0.08	0.08	0.00	0.01	-0.17	0.10	-0.10
T-P	-0.01	-0.22	0.40	0.40	0.67	0.59	0.64	1.00	0.70	0.30	0.11	0.02	-0.04	-0.04	-0.46	0.17	-0.37
Chl-a	0.14	0.00	0.44	0.61	0.82	0.52	0.39	0.70	1.00	0.22	0.06	-0.01	-0.06	-0.06	-0.39	0.13	-0.31

COD 등이 증가하는 것은 오랜 기간동안 저수지 바닥에 침적된 유기물, 영양물질 등이 용출되기 때문으로 판단된다.

여름, 가을, 및 겨울 자료에 대한 상관분석 결과도 상관계수에서 다소 차이는 있지만 전체적으로 매우 유사한 경향성을 보였다(Table 2~4).

### 2 저수지 회귀분석모델 개발 및 적용

2007년 수질자료를 활용하여 Forward 회귀 분석법을 수행하고, 수질인자 변동에 따른 Chl-a의 농도값을 예측한 결과 COD와 T-P가

유의한 인자로 선정이 되었으며,  $Chl-a = 5.2007 * COD + 120.2126 * T-P - 21.1846$  식으로 나타내어졌다. 회귀식의 결정계수는  $R^2=0.689$ 로 비교적 높은 값을 보였다. 그리고 예측값의 잔차는 Fig. 1에서와 같이 대부분 0을 중심으로 분포하고 있어 정규성을 보였다.

Forward 회귀분석법을 이용하여 구한 회귀식의 검증을 위해 2007년 수질자료를 이용하여 구한 저수지 회귀식을 2006년 수질자료에 적용하여 검증하였다. Fig. 2는 2006년 수질 분석 실측치와 모의값을 비교한 결과를 나타내고 있다. 모의값과 실측치는  $R^2=0.694$ 로 비교적 높은 상관관계를 가지며, Chl-a 농도에

Table 4. Correlations Coefficients (r) Between Reservoir Water Quality Parameters and Configurations (Winter)

	pH	DO	EC	BOD	COD	SS	T-N	T-P	Chl-a	준공 나이	만수 면적	유역 면적	총저 수량	유효 저수량	제당 높이	제당 길이	제당 표고
pH	1.00	0.08	0.22	0.11	0.29	0.19	0.01	0.22	0.32	0.17	0.17	0.15	0.07	0.07	-0.23	0.14	-0.26
DO	0.08	1.00	0.07	0.16	0.03	-0.03	-0.08	-0.08	0.06	0.12	0.13	0.16	0.08	0.09	-0.06	-0.03	0.00
EC	0.22	0.07	1.00	0.45	0.45	0.31	0.32	0.43	0.35	0.23	0.09	-0.05	0.00	0.01	-0.41	0.32	-0.36
BOD	0.11	0.16	0.45	1.00	0.62	0.26	0.22	0.35	0.49	0.22	-0.02	-0.08	-0.08	-0.10	-0.35	0.02	-0.24
COD	0.29	0.03	0.45	0.62	1.00	0.58	0.30	0.65	0.61	0.38	0.04	-0.11	-0.08	-0.12	-0.48	0.24	-0.38
SS	0.19	-0.03	0.31	0.26	0.58	1.00	0.31	0.60	0.43	0.36	0.07	-0.08	-0.05	-0.06	-0.38	0.32	-0.31
T-N	0.01	-0.08	0.32	0.22	0.30	0.31	1.00	0.64	0.30	0.13	0.01	-0.05	-0.07	-0.05	-0.24	0.06	-0.12
T-P	0.22	-0.08	0.43	0.35	0.65	0.60	0.64	1.00	0.56	0.37	0.09	-0.06	-0.06	-0.06	-0.47	0.26	-0.40
Chl-a	0.32	0.06	0.35	0.49	0.61	0.43	0.30	0.56	1.00	0.32	0.04	-0.03	-0.05	-0.07	-0.37	0.08	-0.30

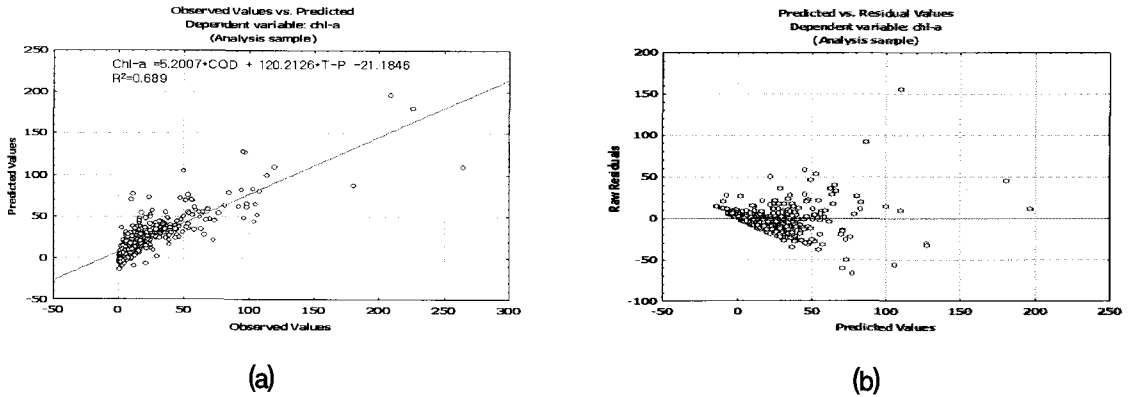


Fig. 1. Regression Analysis Results of Chl-a Concentration with COD and T-P (a), Residual Plot (b)

대해 정상적으로 모의하고 있음을 확인하였다.

한편 저수지 형상 및 유역특성의 변동에 따른 Chl-a 및 T-P 농도를 forward 회귀분석 방법으로 예측한 결과(Fig. 3), 제당높이만 유일한 인자로 선정되었으며, 예측 모델식은 각각 다음과 같다.

$$\text{Chl-a} = -1.2192 * \text{제당높이} + 52.9034 \quad (\text{식 4})$$

$$\text{T-P} = -0.0021 * \text{제당높이} + 0.0866 \quad (\text{식 5})$$

저수지 제당높이와 Chl-a 및 T-P의 예측력은 각각  $R^2=0.153$ ,  $R^2=0.226$ 으로 다소 낮게 나타났으며, 이는 Chl-a는 COD 및 T-P에 높은 상관성을 가지지만 저수지 형상은 수질인자에 비해 영향이 낮음을 알 수 있다.

경험적 모델을 통한 호소의 부영양화와 관련된 타 연구자들(Vollenweider and Kerekes, 1980; 박과 안, 2007)의 연구에서 도출된 결과에 따르면, 호소속의 영양염류는 조류 현존량을 설명하는데 주요한 인자로서 1차 회귀식으로 도출되었고, 호소속의 T-P, T-N 부하는 하절기의 수계로부터 유입되며, 이런 관계는 특히 다우년(Wet year)에 T-P과 Chl-a 및 T-P와 T-N 관계를 약화시켜 저수지형상 및 유역특성이 이런 관계를 변형시킬 수 있다는 결과를 제시하고 있다. 그러나 본 연구에서는 부영양화인자로서 Chl-a와 수질인자간의 높은 상관관계를 도출하였지만, 저수지형상 및 유역특성에 대해서는 상관관계를 성립할 수 없었다.

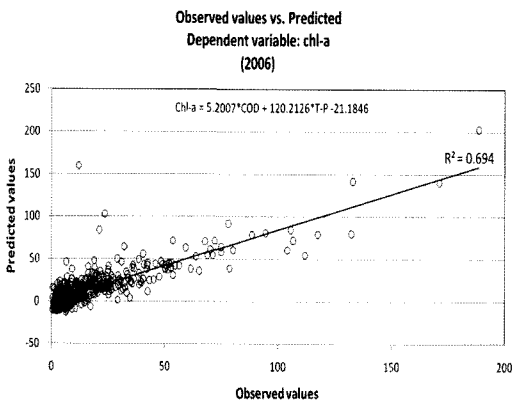


Fig. 2. Simulation Results of Chl-a (2006) Using Regression Expression

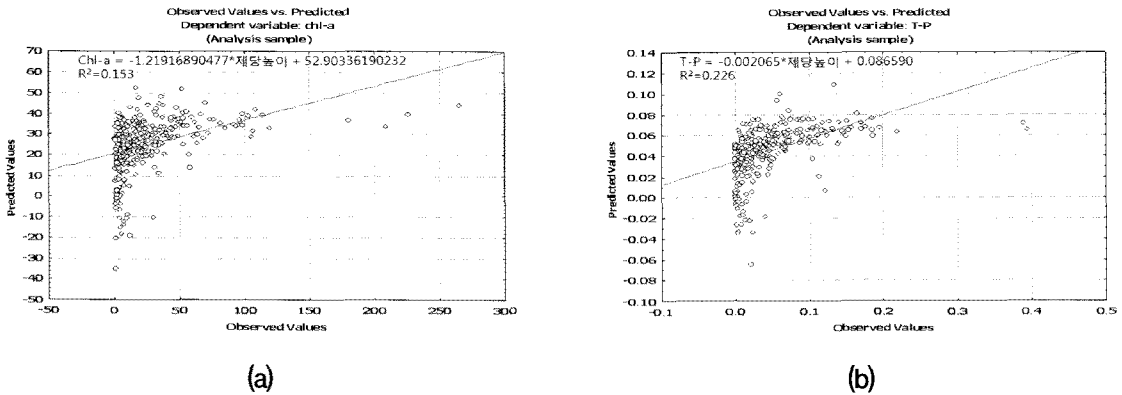


Fig. 3. Regression Analysis Results of Chl-a Concentration with Embankment Height (a) and T-P Concentration with Embankment Height (b)

#### IV. 결론

회귀분석을 위해 수질인자간 상관관계를 조사한 결과 Chl-a와 COD가 상관계수 0.81로 가장 높은 양의 상관관계를 보였으며, Chl-a 및 T-P도 높은 양의 상관성( $r=0.65$ )을 보였지만, T-N과는 상대적으로 낮은 상관성( $r=0.52$ )을 보였다.

저수지의 완공 후 나이는 COD 및 SS를 증대시키는 요인이 될 수 있는 것으로 양의 상관관계( $r=0.34, 0.32$ )를 보였고 수질은 제당높이 및 제당표고와는 강한 음의 상관관계( $r=-0.32, -0.63$ )를 보여 제방높이가 높고 표고가 높은 곳에 있는 저수지는 수질오염이 낮은 것으로 반영된다.

Forward 회귀분석법에 따라 수질인자가 변동함에 따른 Chl-a의 농도값을 예측한 결과 COD와 T-P가 유의한 인자로 선정이 되었으며,  $Chl-a=5.2007*COD+120.2126*T-P-21.1846$  식으로 나타내어졌다. 회귀식의 결정계수는  $R^2=0.689$ 로 비교적 높은 값을 보였으며, 2006년 수질자료에 적용하여 검증한 결과

Chl-a 농도에 대해 정상적으로 모의하고 있음을 확인하였다.

저수지 형상 및 유역특성 변동에 따른 Chl-a 및 T-P 농도를 forward 회귀분석법으로 예측한 결과, 제당높이만 유의한 인자로 선정되었으며, 예측모델식은 각각 다음과 같다.

$$Chl-a = -1.2192 * \text{제당높이} + 52.9034$$

$$T-P = -0.0021 * \text{제당높이} + 0.0866$$

한편 저수지 형상과 함께 토지이용도가 수질에 크게 영향을 미친다는 것을 앞서 살펴본 상관분석 및 문헌결과들에서 알 수 있었으며 다음 연구에서는 이들에 대한 보다 많은 연구가 요구된다.

#### 참고문헌

1. 김호섭, 황순진. 2004. 얕은 부영양 저수지의 육수학적 특성-계절에 따른 수질변화. 육수지 37(2): pp. 180~192.
2. 박희정, 안 광 국. 2007. 우리나라 대형 인공호에서 영양상태 평가 및 수질 변수를 이용한 경험적 모델 구축. 한국하천호수학회지 40 (1): pp. 14~30.

3. 신윤근, 전상호. 2002. 아산호의 생태학적 연구 1. 이화학적 특성과 영양상태. 육수지 35(3): pp. 181~186.
4. 윤춘경, 이새봄, 정광욱, 한정윤. 2007. 농업용저수지 지역의 토지이용과 수질항목 간의 상관관계 분석. 한국하천호수학회지 40: pp. 31~39.
5. 이재연, 이재훈, 신경훈, 황순진, 안광국. 2007. 우리나라 농업용 저수지의 영양상태 및 수질특성. 육수지 40(2): pp. 223~233.
6. 이해원, 안광국, 박석순. 2002. 소양호 표층수 수질의 연별 추이 및 상.하류 이질성 분석. 육수지. 53(1): pp. 36~44.
7. 전지홍, 윤춘경, 함종화, 김호일, 황순진. 2002. 농업용 저수지의 물리적 인자가 수질에 미치는 영향. 육수지 35(1): pp. 28~35.
8. Carlson R.E. 1977. A trophic status index for lakes. Limnol. Oceanogr. 22: pp. 361~369.
9. Harper, D. 1992. Eutrophication of Freshwater: Principles, Problems and Restoration. Chapman and Hall press, London.
10. Sakamoto, M. 1966. Primary production by phytoplankton community in some Japanese lakes and its dependence on lake depth. Arch. Hydrobiologia 62: pp. 1~28.
11. StatSoft, Inc., 2004. STATISTICA (data analysis software system), Version 7, <http://www.statsoft.com>.
12. Vollenweider and Kerekes. 1980. The loading concept as bases for controlling philosophy and preliminary results of the OECD programme on eutrophication. Prog. Wat. Tech. 12: pp. 5~38.