

單純모델을 利用한 貯水地 水質豫測

金貞圭* · 福島武彥** · 相崎守弘** · 徐胤洙*

Prediction of water quality on some reservoirs with a simple model

Jeong-Gyu Kim*, Takehiko Fukushima**, Morihiko Aizaki**
and Yoon-Soo Suh*

Abstract

To understand the fundamental features of reservoir environment and its future aspects, a simple predictive model for water quality was attempted with the aid of data easily obtained. Based on the data from 12 reservoirs in Korea, application of the simple predictive model was successfully made by means of statistical methods and simple physical submodels. Significant information on the effects of retention time on primary production in a reservoir, longitudinal change in water quality affected by certain non-dimensional parameters were also obtained. The chlorophyll-a concentration can be predicted by the equation as ; $\text{chlorophyll-a} = (395 \times \text{limiting nutrient concentration}) - 1.090$.

緒 論

우리나라 水資源賦存量은 연간 1,140억톤 정도이
나, 이 중에는 하천을 통하여 流出되는 水量이 662
억톤(58%)이고 나머지는 地下浸透와 蒸發散에 의
해 소실된다. 또한 수자원으로서 이용되는 天然湖
가 거의 없고 연간 평균 降水量 1,160mm의 약
66%가 6월부터 9월사이에 집중되고 있기 때문에

댐湖의 면적비는 우리나라가 세계에서 가장 높다.¹⁾

그러나, 1970년대부터 본격화되었던 산업화에 의
한 영향과 인구증가 및 도시집중화 현상이 불러온
각종 用水量의 증가에 의한 양적 부족현상과 한정
된 水體空間에의 오염물질 유입량 증가로 이들 댐
湖에서도 부영양화가 진행되고 있어, 댐湖의 水質
水資源의 確保나 災害의 防止 및 發電을 위한 多目
的 댐이 많이 축조되어 있는데, 국토면적에 대한

* 國立環境研究院 水質研究部

Water Pollution Research Department, National Institute of Environmental Research(NIER),
Seoul 122-041, Korea

** 日本 國立環境研究所 地域環境研究 Group

Regional Environment Division, The National Institute for Environmental Studies(NIES),
Tsukuba Ibaraki 305, Japan

확보가 중요한 과제가 되고 있다. 그를 위해서 水質保全 特別對策地域의 指定이나 排水路의 整備 그리고 排出規制 등 각종 대책안이 검토 또는 추진되고 있으나 그들 대책의 효과예측, 적합성의 평가에는 호수수질예측 모델이 필요하다.

그러나 우리나라의 호소나 하천 등의 환경에 관련된 조사·연구는 역사가 상대적으로 짧고, 그 수집된 데이터의 양도 적을 뿐 아니라 특히 몇몇 주요한 댐호에서도 데이터가 충분하지 못하기 때문에, 우선 우리나라의 주요한 댐호를 대상으로 수집 가능한 데이터를 모아 정보가 적은 호소에서도 적용될 수 있는 Vollenweider형의 모델²⁾을 이용하여 데이터의 정리와 해석을 시도해 보았다.

材料 및 方法

1. 對象 댐호

대상으로 한 貯水地는 그림 1과 같이 한강에 7, 낙동강에 2, 그리고 영산강, 금강, 삼교천에 각각 하나씩 전부 12개의 댐호이다. 특히, 한강유역에는 우리나라 전체인구의 3분의 1이 집중되어 있는 가장 큰 用水需要 地域이므로 댐호의 축조도 집중되어 있어 북한강만으로도 소양, 파로, 춘천, 의암,

청평댐 등 5개의 댐이 축조되어 있다. 대상으로 한 각 저수지의 제원은 표 1과 같다.³⁾



Fig. 1. The location of the reservoirs.

Table 1. Physical Characteristics of Some Reservoirs in Korea.

Reservoir*	Inflow x10 ⁶ m ³ /yr	Capacity x10 ⁶ m ³	Watershed Area Km ²	Mean Depth M	Retention Time day	Surface Area Km ²
Paro (PR)	2,874.5	1,018	4,145	26.2	129	38.9
Soyang (SY)	1,874.5	2,900	2,703	41.4	562	70
Chuncheon (CC)	3,284.4	150	4,736	10.5	17	14.32
Chungpyung (CP)	7,049.4	185	10,165	10.9	10	17.0
Chungju (CJ)	4,610.3	2,750	6,648	28.4	219	97
Paldang (PD)	16,505.2	244	23,800	6.7	5	36.5
Andong (AD)	1,098.5	1,230	1,584	23.9	410	51.5
Jinyang (JY)	1,584.6	136	2,285	5.8	31	23.65
Daechung (DC)	2,864.8	1,490	4,434	20.5	190	72.8
Yongsan (YS)	4,885.0	253	2,798	7.3	19	34.7
Sapkyo (SK)	1,136.0	84	1,639	4.2	27	20.2
Eiam (EA)	5,385.0	80	7,765	4.7	5	17.2

*() is the abbreviation name of the reservoir tested in this paper.

2. 원단위

표 2는 각 댐湖의 유역으로부터 오염부하량을 산정할 때 이용한 배출원단위이나 福島 등⁴⁾이 사용했던 배출부하원단위와는 차가 있다. 우선 논과 농경지 및 삼림의 경우에는 한국의 값이 일본의 원단위 값보다 낮게 나타났으나, 도시에서는 반대로 우리나라의 원단위가 높은 값을 보이고 있다. 그러나, 잠용지로부터의 부하원단위는 같은 정도의 수준이다.

Table 2. Basic units due to land utilizing(Kg/Km²/d)

	Paddy field	Farm& Orchard	Forest	Urban area	Other land
TN*	2.33 (3.21)	2.33 (9.26)	0.55 (0.789)	2.33 (1.45)	0.759 (0.76)
TP	0.17 (0.269)	0.17 (0.31)	0.013 (0.027)	0.55 (0.32)	0.027 (0.027)

*TN : Total Nitrogen

TP : Total Phosphorus

가축의 경우에는 한국에서는 말의 사육이 거의 없기 때문에, 소와 돼지의 배출원단위 만이 조사되어 있으며 일본의 값에 비하여 높은 값을 보이고 있다. 이는 하수처리의 정도가 일본보다 낮은 것이 하나의 원인으로 생각되므로 조사가 필요하다고 생각한다(표 3).

Table 3. Basic units for livestock(g/head/d)

	Cattle	Pig
TN*	128 (26)	20.4 (8.1)
TP	72 (6.5)	16.8 (4.3)

*TN : Total Nitrogen

TP : Total Phosphorus

3. 單純 모델식

Vollenweider형의 모델은 호소를 完全混合槽로 보고, 1년 단위로 정상상태를 가정하여, 유입·유출농도차를 일괄하여 수지잔량으로서 한다는 등의

가정으로부터 성립되는 것으로 기본식은

$$[P]_j = \frac{L(1-R)}{qs} = [P]_i(1-R) \quad (1)$$

와 같다. 여기에서 [P]_j는 호수 평균농도, L은 면적부하, qs는 수량부하, [P]_i는 유입수의 평균농도, R는 축적율이다. R의 표현방식에는 몇개인가의 것이 있으나, 이하의 두 가지의 방식을 사용하였다.

$$R = (1 + \sqrt{1/Tw})^{-1} \quad (2)$$

$$R = v/(v + qs) = (1 + qs/v)^{-1} \\ = (1 + h/v \cdot Tw)^{-1} \quad (3)$$

여기에서 Tw는 호수의 물 체류시간(년), v는 침강속도(m/년), h는 평균수심이다. 즉, 호수에서의 평균농도는 유입수의 평균농도에 (1-축적률)을 곱한 것이나, 여기에서 Vollenweider의 축적률과 Dillon과 Kirchner의 축적률은 식 (2)와 (3)으로 각각 계산하였다. Dillon과 Kirchner식의 경우에 침강속도를 0.5m/년에서 3m/년까지 변화시켜서 계산하였다.

結果 및 考察

1. 오염부하량

표 2와 표 3의 원단위를 이용하여 각 댐湖의 유역으로부터 질소의 오염부하량을 나타낸 것이 그림 2이다. 그림 2에서 생활계는 사람으로부터의 총부하량, 축산은 축산업으로부터의 부하, 공업은 공장 등 산업으로부터 배출되는 산업배수에 의한 부하이고, 양식은 어류의 양식에 의한 부하이다. 그리고 비점원은 농업과 삼림 등으로부터의 것이다.

그림 2를 보면 영산호, 삼교호, 의암호, 안동호에서 30% 이상의 오락부하가 생활계로부터의 것이며, 특히 영산호에서는 총부하량의 60% 이상이 생활계로부터의 것인데 이는 영산호가 강의 하구에 위치하고 있을 뿐만 아니라 상류역에 광주, 목포, 나주 등의 대도시가 다수 있기 때문으로 생각한다.

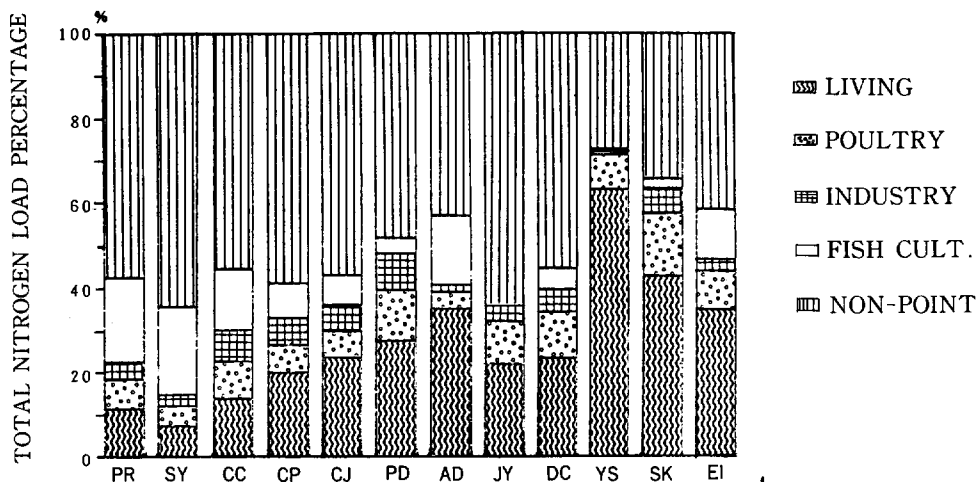


Fig. 2. Constituion of total nitrogen effluent from various sources in each reservoir watersheds.

2. 영양염 농도의 예측

그림 3은 각 댐湖에 대한 댐湖의 제특성과 오염 부하를 사용한 댐湖의 인과 질소의 농도를 Vollenweider식과 Dillon & Kirchner의 식을 사

용한 예측치와 실측치를 비교한 그림이다. 이 그림에서 직선은 예측치와 실측치가 2:1, 1:1, 1:2 인 경우를 나타내며, 이것은 OECD 등의 보고 등에서 많이 이용되고 있다.

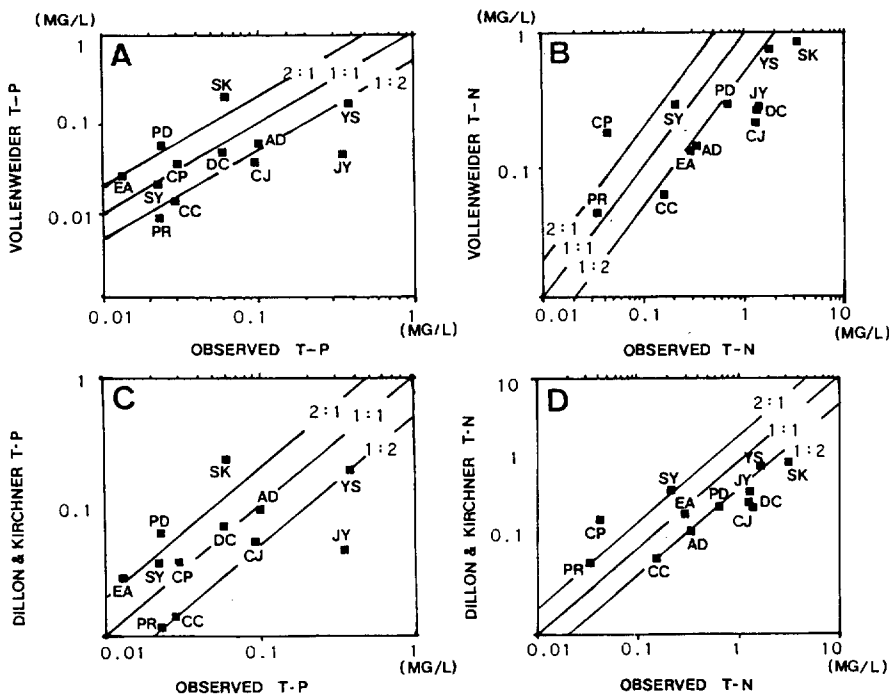


Fig. 3. The relationship between the observed values and the predicted values which were calculated by the Vollenweider's equation(A, B) or the Dillon & Kirchner's equation with 0.5m/y of settling velocity (C, D).

그림 3의 A는 Vollenweider식으로 계산한 총인 농도(T-P)의 예측치와 실측치이고 B는 Vollenweider식으로 계산한 총질소 농도(T-N)이다. 또 C와 D는 Dillon과 Kirchner식에서 침강속도를

0.5m/년으로 하였을 때의 계산 결과이다. 이와 같은 결과를 종합한 것이 표 4인데, 총인과 총질소 모두 Vollenweider식보다는 Dillon과 Kirchner식에서 좋은 예측을 할 수 있다는 결과이었다.

Table 4. Degree of agreement between the observed and the predicted concentrations by Vollenweider type model.

	TP			TN		
	r<0.5	0.5≤r<2	r≥2	r<0.5	0.5≤r<2	r≥2
Vollenweider	5	5	2	9	2	1
D & k(V=0.5)	2	7	3	4	5	3
D & k(V=1)	2	7	3	5	4	3
D & k(V=2)	2	7	3	5	4	3
D & k(V=3)	2	7	3	6	4	2
D & k(V=4)	2	7	3	6	4	2
D & k(V=5)	2	7	3	6	4	2
D & k(V=10)	3	6	3	7	4	1
D & k(V=15)	5	4	3	8	3	1
D & k(V=20)	5	4	3	8	3	1
D & k(V=30)	5	4	3	9	2	1

*D & K : predicted by Dillon & Kirchner's equation with the settling velocity at 5, 10, 15, 20 and 30 meter/year.

** r is the ratio of the predicted concentration to the observed concentration.

총인 농도에서는 침강속도를 0.5m/년으로부터 5m/년까지 변화시켜도 잘 예측되었으나, 총 질소의 경우는 0.5m/년의 경우에 가장 예측도가 높았다. 따라서 총인과 총 질소를 간단하게 예측하고자 하는 경우에는 Dillon과 Kirchner식에서 침강속도는 0.5m/년으로 하는 것이 적당함을 알았다.

3. 부영양화의 예측

호수나 댐호를 상수원으로서 이용하는 때, 부영양화가 문제가 되는 경우가 있으므로 수질관리를 위해서는 부영양화가 일어나는가에 대해 예측할 필요가 있다. 그런데 부영양화를 예측하기 위해서는 Chlorophyll-a의 농도를 예측할 필요가 있으므로 우선 제한인자를 福島 등의 방법, 즉 총질소:총인의 비가 11 이상이면 인이, 11 이하일 때는 질소가 제한인자가 된다고 가정하였다. 금번의 결과에서는 그림 4와 같이 인제한 호수가 6개, 질소제한

호수가 6개씩으로 나타났다. 질소가 제한인자인 경우에는 TN/11을 제한영양염 농도로 하였다.

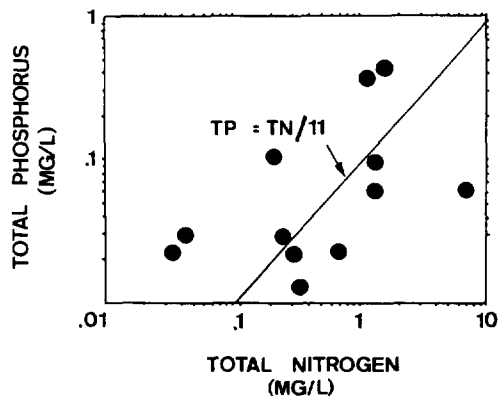


Fig. 4. The ratio of total phosphorus concentration and total nitrogen concentration among the reservoirs.

제한 영양염의 농도와 엽록소 a와의 관계를 검토하면 그림 5와 같은 결과가 된다. 이번에 대상으로 한 인공담호에서 엽록소 a 농도의 측정치를 구할 수 있었던 것이 7개 뿐이어서 이 담호들을 대상으로 검토하였다.

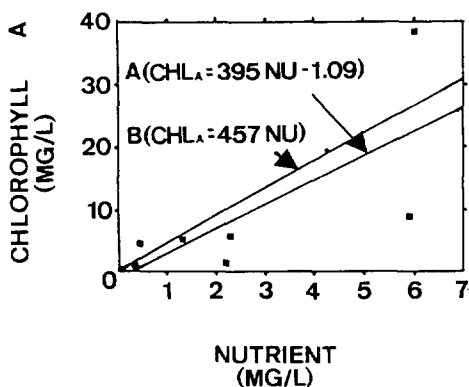


Fig. 5. The relationship between limiting nutrient concentration and the concentration of chlorophyll-a in reservoirs(A is the result of this study, B is the result of Fukushima et al.⁴⁾).

엽록소 a 농도는 $395Nu - 1.090$ 이라는 식으로 나타낼 수 있음을 알았으나, 이것은 일본 전국 90개 호수를 대상으로 계산한 값 B⁶⁾보다 약간 낮은 경향이 있다. 그 이유는 한국의 평균기온이 일본보다 낮으므로 조류의 생장이 제한되었다는 점과 우리나라 담의 체류시간이 짧기 때문이라고 생각된다.

앞으로 예측의 정도를 향상시키기 위해서는 배출원단위의 검토, 보다 많은 담호에서의 실측데이터의 확보 그리고 지역별로 정확한 강수량 및 토지이용 데이터의 정비 등이 필요하다고 생각된다.

要 約

현재 우리나라에서 수집가능한 데이터를 이용하여 간단한 수질예측 모델의 작성을 목적으로서, 우리나라의 주요한 12개 담호를 대상으로 유역정보와 호수 수질과의 관계를 조사하였다. 얻어진 결과는 다음과 같다.

1. 호수의 환경정보가 매우 적기 때문에 데이터의 취사선택에 관해서 충분한 검토를 행하기 어려운 점이 있어서 앞으로 이들 데이터의 확보나 정보의 정비가 필요하다고 판단된다.

2. 담호의 영양염 농도의 예측에는 침강속도를 0.4 m/년 으로서 Dillon과 Kirchner식을 이용하는 것이 좋았다.

3. 엽록소 a의 농도는 엽록소 a = $395 \times Nu - 1.090$ 의 식으로 예측할 수 있었다.

4. 앞으로 예측의 정도를 향상시키기 위해서는 발생원단위 및 배출원단위의 검토와 보다 많은 호수나 담에서의 실측 데이터 및 유역 환경 데이터의 축적 및 정비가 필요하다고 판단된다.

參考文獻

1. 相崎 守弘(1989) : 韓國における水環境問題の現状と對策の動向, 公害と對策, 25(1) : 19~23.
2. OECD(1982) : Eutrophication of waters, OECD Paris, p.154
3. 환경청(1988) : 한국환경연감, 환경청, p.107
4. Takehiko Fukuchima and Kohji Muraoka (1988) : Simple model to predict water quality in 90 Japanese lakes, Verh. Internat. Verein. Limnol. 23 : 812~827.
5. 福島武彦・天野耕二・村岡浩爾(1986) : 湖沼水質の簡易な豫測モデル, 2. 湖水營養鹽濃度と内部生産COD, クロロフィルaとの關係, 日本水質汚濁研究, 9(12) : 775~785.