

화옹호의 부영양화 방지를 위한 영양염류 삭감을 산정

김미아 · 김영희 · 이홍근 · 황대호[†] · 김지영^{*}

서울대학교 보건대학원 환경보건학과

^{*}경기개발연구원 환경정책연구부

Estimation of Nutrients Reduction Rates to Prevent Eutrophication on the Hwaong Reservoir

Mi-Ah Kim · Young-Hee Kim · Hong-Keun Lee · Dae-Ho Hwang[†] · Ji-Young Kim^{*}

Dept. of Environmental Health, Graduate School of Public Health, Seoul National University

^{*}Dept. of Environmental policy and planning, Kyonggi Research Institute

(Received 12 August 2004, Accepted 23 September 2004)

Abstract : In this study, the reduction rates of nutrients were suggested to prevent eutrophication on the Hwaong reservoir in the year of 2008 and 2012. With EPA's WASP6 model, future water quality were simulated. In 2008, T-N would be 1.36mg/L and T-P 0.100mg/L on average. ; In 2012, T-N 2.66mg/L and T-P 0.128mg/L. With all the water quality management plans that the government authorities are carrying out, these results indicate that the reservoir would be reach the eutrophic or hypertrophic state according to the Vollenweider's trophic states. Therefore, the Hwaong reservoir requires additional plans for nutrients management. Here, the target water quality to prevent eutrophication of the reservoir sets into mesotrophic state ; T-N 0.475mg/L and T-P 0.02mg/L.(median of Vollenweider index for mesotrophic state) The reduction rates of nutrients on Namyang and Eoeun streams were estimated with uniform treatment method to meet the goal. The results showed that nutrients from two streams should be reduced up to 78% in 2008, and 84% in 2012. Since the ratio of T-N/T-P would be higher than 16 at target years, T-N was not considered as the limiting factor and was not reduced.

keywords : WASP6, Reliability index, Eutrophication, Nutrients, the Hwaong reservoir

1. 서론

우리나라 인공 호수의 대부분은 하구 담수호로 상류에서 유입되는 오염물질로 인한 부영양화가 문제되고 있다. 담수호의 부영양화(eutrophication)에는 유입수와 호수 바닥의 퇴적물에서 용출되는 질소와 인이 큰 역할을 하고 있는 것으로 알려져 있다(서, 1998; Jorgensen, 1980).

본 연구의 대상인 화옹호는 화성군의 7개 면과 남양천, 자안천, 어은천 등 3개의 소규모 하천이 호내로 유입되고 있는 인공담수호로, 유역면적에 비해 쉽게 오염될 수 있는 환경을 이루고 있다. 따라서 과거의 간척사업으로 건설된 시화호 등의 실패 사례를 따르지 않기 위해서는 호수의 오염예방에 지속적인 관심과 연구가 필요하다.

본 연구에서는 화옹호 유역의 각종 오염원과 수질에 대한 실측자료를 바탕으로 장래수질을 예측했으며 호수 수질 관리의 관건인 부영양화를 방지하기 위해 어느 정도의 영양염류를 삭감할 것인가를 산정하였다. 수질모델은 EPA가 개발한 WASP6 모델 중 일반적인 수질항목에 대한 부영양

화 모듈인 EUTRO6을 이용하였다.

2. 연구내용 및 방법

2.1. 연구대상 지역 및 수질현황

화옹호는 서신면 궁평리와 우정면 매항리를 잇는 9.8km의 방조제를 쌓아 만든 인공담수호로써 행정구역상으로는 경기도 화성시 남양면, 마도면, 서신면, 비봉면, 팔탄면, 우정면, 장안면에 걸쳐 있다. 화옹호는 바다를 메워 생기는 4,482ha의 농경지에 농업용수를 공급하기 위해 만들어졌으며, 2002년 3월에 최종 물막이 공사를 마쳤으나 수질관리가 문제되어 현재는 배수갑문을 통해 바닷물을 제한적으로 유통시키고 있다. 총 저수량은 약 54백만 톤으로 시화호의 1/6, 새만금호의 1/10 규모이다(경기개발연구원, 1999).

화옹호에는 남양천, 자안천, 어은천 3개의 하천이 유입되고 있다. 남양천은 유로연장 7km로 연중 유량이 매우 적고 오염원이 밀집된 남양면을 거쳐 해역으로 유입되는데, 해역 유입부까지의 거리가 짧아 연중 수질오염도가 높은 상태이다. 자안천은 유로연장 12km로 생활하수의 집중적인 유입은 없으나 상류유역에는 공장과 축산단지가 많이 밀집해

[†] To whom correspondence should be addressed.
expert7@netian.com

있으며 하류유역에는 농경지가 많다. 우정면의 어은천은 유로연장 8km로 우정면 소재지의 생활하수, 산업폐수, 농경배수에 오염되어 하구부에 이르고 있다. 어은천은 조류의 영향을 많이 받는 감조하천으로 대조기에는 해수가 하천의 유입부에서 2.6km 상류까지 침투하고 하천 하류부의 하상은 개펄과 같은 특성을 보이고 있다(경인지방환경청 홈페이지).

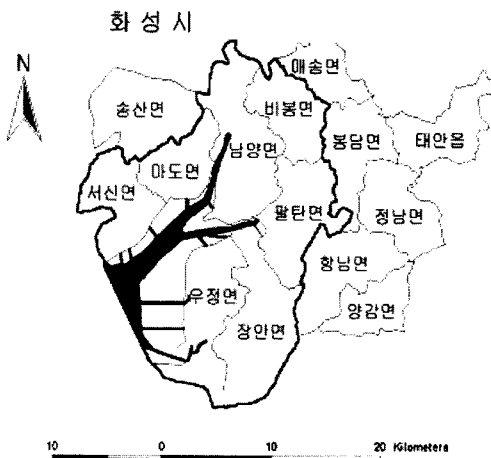
한편, 농업기반공사(2002)에 의하면 화옹호의 수질은 연중 Secchi-Depth(수중투명도) 1.3~2.0m(연평균 1.2m), Chl-a 2.6~14.1mg/m³(연평균 8.4mg/m³), DO 6.7~14.5mg/L, COD 1.6~5.8mg/L, T-N 0.022~0.387mg/L, T-P 0.005~0.02mg/L로 시기별로 다소 차이를 보이고 있지만, Table 1에서 Vollenweider 등(Vollenweider et al., 1980)이 제시한 호수의 영양상태를 참고하면, 화옹호는 현재 중영양 상태에 있다고 볼 수 있다. 그러나 현재의 해수유동이 종료되고 담수화가 시작되는 2008년부터는 유입하천과 유역에서의 오염원이 호내로 유입되어 축적됨에 따라 수질이 악화될 것으로 예상된다.

Table 1. Trophic states of T-P, T-N by Vollenweider

Trophic states	T-P (mg/L)	T-N (mg/L)
Ultra-Oligotrophic	<0.005	<0.20
Oligotrophic	0.005~0.01	0.20~0.40
Mesotrophic	0.01~0.03	0.30~0.65
Eutrophic	0.03~0.10	0.50~1.50
Hypertrophic	>0.10	>1.50

2.2. 화옹호 오염부하량 현황

수질에 영향을 미치는 오염원을 파악하고 오염물질의 발생량 및 유달오염부하량을 산정하기 위하여 4개 유역으로 구분하였다(Fig. 1). Table 2는 농업기반공사(2002)의 환경영향조사보고서를 참고하여 2002년 현재 이 유역에서 발생하는 오염부하량을 정리한 것이다.



2.3. 모형의 적용성 평가

2.3.1. 화옹호의 구획화

본 연구에서는 수질모의 구역을 남양천, 자안천, 어은천의 하류부에서부터 바다로 유입되기 직전인 방조제 앞까지 하였고, 화옹호의 유로연장 12.4km에 대해 모형을 적용하기 위해 수리·수문 특성이 비슷한 지역과 수질측정 지점을 중심으로 10개 구획으로 나누었다(Fig. 2). 유입경계는 남양천(segment 1), 자안천(segment 4), 어은천(segment 10) 하류지점이며 유출경계는 방조제 안쪽 지점(segment 10)으로 하였다.

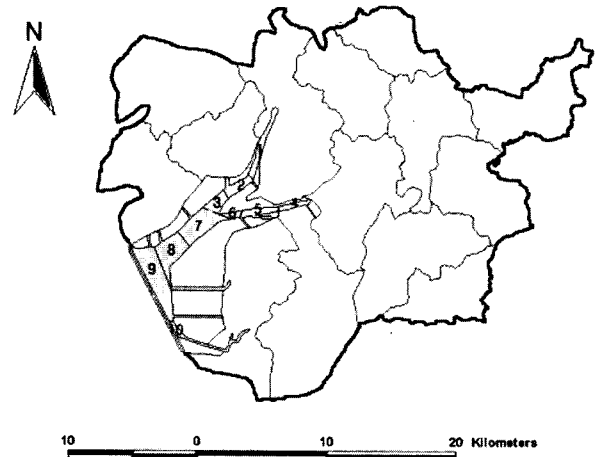


Fig. 2. Segmentation for water quality simulation of the Hwaong reservoir.

2.3.2. 모형의 입력자료 구성

2.3.2.1. 수리자료

본 연구에서는 DYNHYD5 모형을 사용하지 않아 필요한 흐름자료를 직접 입력하였다. 모의에서는 제1운송장인 표층수만을 고려하여 수평방향으로 분할구획하였으며 수직방향 분할구획은 수행하지 않았다.

화옹호의 단면자료는 농업기반공사(2003)에서 실측한 자

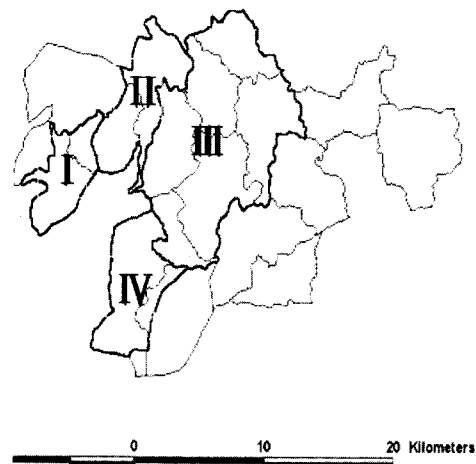


Fig. 1. Watershed and sectional map for the study of the Hwaong reservoir.

Table 2. Generated pollutant loadings in the Hwaong watershed as of 2002 (unit : kg/day)

Pollutant Sources	Watershed	BOD	T-N	T-P
Settled Population	I	162.49	21.40	11.48
	II	439.55	53.41	12.28
	III	289.14	22.07	1.04
	IV	1,500.61	196.30	41.30
Industry	I	1.81	0.00	0.00
	II	219.40	16.40	2.50
	III	371.10	65.80	10.50
	IV	43.10	38.40	1.10
Livestock	I	3,129.10	791.30	288.90
	II	6,274.90	1,597.40	618.10
	III	9,839.60	2,511.60	1,006.30
	IV	4,585.60	1,174.70	419.60
Land use	I	142.56	77.90	3.86
	II	237.31	63.16	3.81
	III	155.74	41.82	2.53
	IV	307.69	81.95	419.60
Fish-farm	I	1,007.10	201.40	53.70
	II	8.70	1.70	0.50
	III	1,095.20	219.00	58.40
	IV	5,189.00	1,037.80	276.70
Total	I	4,443.06	1,092.00	357.94
	II	7,179.86	1,732.07	637.19
	III	11,750.78	2,860.29	1,078.77
	IV	11,626.00	2,529.15	1,158.30

Table 3. The amount of inflow of streams to the Hwaong reservoir (unit : m³/s)

Inflow streams	Month				
	5	6	7	8	9
Namyang	0.18	0.18	0.34	0.46	0.38
Jaan	0.56	0.56	0.97	1.54	0.56
Eoeun	0.32	0.45	0.36	0.89	0.32

료를 참고하였으며, 평균수심은 3.38m이고 제일 깊은 곳은 segment 8로 5.6m, 전체 체적은 68,620,920m³이다.

advective and dispersive transport는 모형에 직접 입력하였으며, 유속(V), 유량(Q), 수심(D)의 관계는 식 (1)을 이용하였다.

$$V = aQ^b, \quad D = cQ^d \quad (1)$$

유입하천 중 남양천과 어은천은 경기개발연구원(1999)에서 측정된 5~9월 자료를 이용하였고, 자안천은 보가 설치되어 시기별로 정확한 방류량을 구할 수 없어서 가장 근접해 있는 남양천의 유속 중 가장 작은 값을 이용, 유역면적법으로 유량을 산정하였다(Table 3).

2.3.2.2. 기상 및 수질자료

화옹호 기상자료는 수원기상관측소의 풍속과 일사량자료를 이용하였다. 수질자료는 경인지방환경청(경기지방환경청 홈페이지)과 농업기반공사(2002)에서 실측한 자료를 이용하였으며 화옹호의 유입경계와 유출경계의 수질농도는 Table 4와 같다.

2.3.3. 모형의 적용성 평가

모형의 적용성 검토를 위한 보정·검증 작업은 다년간 축적된 자료를 이용하는 것이 정확하나, 본 수체는 2002년에 최종물막이 공사가 완료되어 호의 수질자료가 빈약한 상태이다. 따라서 WASP6의 적용을 위한 보정·검증 작업은 2003년까지의 1년 동안 실측된 자료를 중심으로 이루어

Table 4. Boundary conditions of the Hwaong reservoir as of May, 2002

Variable	Boundaries			
	Namyang downstream	Jaen downstream	Eoeun downstream	seawall
Temp(°C)	24.000	24.000	23.000	19.600
DO(mg/L)	6.100	9.800	4.600	8.500
BOD(mg/L)	4.100	12.000	2.500	1.700
Chl-a(mg/L)	5.400	71.800	7.300	6.000
ON(mg/L)	4.207	1.844	1.969	0.005
NH ₄ (mg/L)	2.934	0.081	0.264	0.043
NO ₃ (mg/L)	4.984	1.928	1.198	0.012
OP(mg/L)	0.008	0.090	0.046	0.001
PO ₄ (mg/L)	0.398	0.085	0.033	0.004

질 수밖에 없었고, 유량이 비슷한 시기를 기준으로 하여 3월과 5월 수질자료를 보정에, 9월과 11월 수질자료를 검증에 이용하였다.

모형의 보정·검증 결과는 DO, BOD, T-N, T-P 항목에 대해 식 (2)와 같이 Reliability Index(RI)를 이용하여 평가하였다. RI는 실측치와 모의치가 일치하면 1이 되고, 두 값의 차이가 클수록 RI값도 커진다(김 등, 1991).

$$RI = \frac{1 + \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^T \sum_{m=1}^M \frac{[1 - (Y_{tm}/X_{tm})]^2}{1 + (Y_{tm}/X_{tm})^2}}}{1 - \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^T \sum_{m=1}^M \frac{[1 - (Y_{tm}/X_{tm})]^2}{1 + (Y_{tm}/X_{tm})^2}}} \quad (2)$$

여기서, Y = 실측치, X = 모의치, N = (X, Y) 조(組)의 수
T = 실측기간(Sampling periods) 수

2.4. 장래유달오염부하량 산정과 장래수질 예측

본 연구에서의 목표연도는 해수유통을 종료하고 담수화 작업을 시작함에 따라 호수 수질이 악화될 것으로 예상되는 2008년과 간척지개발공사 및 농업용수 사용 개시년인 2012년으로 하였다.

화옹호의 장래수질예측에 필요한 2008년과 2012년의 발생오염부하량과 유달오염부하량은 화옹지구 간척지 개발사업 환경영향조사보고서(농업기반공사, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001; 농업기반공사, 2002)와 담수호 수질개선 조사보고서(I)(농업기반공사·농이촌연구원, 2001), 화옹호 수질보전대책 세부추진계획(안)(관계기관합동, 2002)의 자료와 식 (3)을 이용하여 산정하였고 이를 토대로 장래수질을 예측하였다.

$$\text{유달오염부하량} = \text{배출오염부하량} \times \text{유달률} \quad (3)$$

여기서, 배출오염부하량 = 발생오염부하량 - 수질개선대책에 의한 삭감부하량

2.5. 화옹호의 부영양화방지를 위한 영양염류 삭감을 산정

화옹호의 부영양화를 방지하지 위해 목표수질을 중영양 상태로 하였고, 그 기준은 Vollenweider가 제시하고 있는 중영양상태(T-N 0.3~0.65mg/L, T-P 0.01~0.03mg/L)의 범위에서 중간값인 T-N 0.475mg/L, T-P 0.02mg/L로 하였다.

화옹호에 영향을 미치는 유역이 총 4개이므로 삭감계획을 실시하기가 용이한 유역을 먼저 선정하였다. 각각의 유역에서 발생하는 오염부하량이 그 유역에서 가장 가까운 하천을 거쳐 호내로 유입된다고 가정할 때, I 유역의 오염부하량은 다른 소하천 없이 직접 호내로 유입되고 II 유역은 남양천, III 유역은 자안천, IV 유역은 어은천을 거쳐 유입된다고 볼 수 있다. 그리고, 하천을 통한 오염부하량 통제가 상대적으로 용이하다는 점과 화성군에서 남양천과 어은천을 하수처리구역으로 정해 오염물질을 처리할 계획을 수립하고 있다는 점(경기개발연구원, 1999)을 고려해서 남양천과 어은천이 있는 II 유역과 IV 유역을 삭감대상으로 선정하였다.

한편, 우리나라의 호소수질환경기준에는 T-N/T-P의 비율이 7이하일 경우 총인 기준을 배제하며, T-N/T-P의 비율이 16이상일 경우 T-N 기준의 적용을 배제한다. 이것은 수중 미생물(조류)에 대한 질소와 인의 제한요인 효과를 고려한 것으로 7이하일 경우는 질소가 제한요인으로 작용하여 인의 중요도가 상대적으로 저하되고, 16이상일 경우에는 인이 제한요인으로 작용하여 질소의 상대적 중요성이 떨어지기 때문이다(환경부, 2001).

본 연구에서도 영양염류 삭감을 산정시 T-N/T-P비를 반영하였고, 남양천과 어은천에서 유입되는 영양염류 부하량을 삭감하였을 때 예측년도의 4월부터 11월까지 평균농도가 목표수질을 달성할 수 있도록 하였다. 삭감방법으로는 시행의 용이성 때문에 행정실무에서 많이 채택하고 있는 일정률 삭감법(농림부, 1999)을 적용하여 남양천과 어은천에서 동시에 일정률로 삭감하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 모형의 적용성 평가

모형이 현실을 잘 반영하도록 모형내의 매개변수를 매뉴얼값을 기준으로 시행착오법으로 조정하였고 그 결과는 Table 5에 나타내었다.

식 (2)를 이용하여 RI를 계산한 결과, 보정에서는 T-N, T-P를 제외한 BOD, DO 항목이 2이하의 값으로 양호한 결과를 보여주었다. 검증에 대한 RI 계산 결과, DO가 다른 항목들에 비해 가장 일치성이 높았으며, T-N이 2이상으로 일치성이 다소 떨어지는 것으로 나타났다. 그러나 T-N, T-P의 RI가 2.11과 1.48로 보정때 보다 향상되어 적합도가 양호한 것으로 판단되었다(Table 6). 이런 결과는 다른 연구들에서도 비슷한 경향이다. 사 (1998)의 연구에서는 RI가 9개의 항목에 대해 1.79~4.26으로 나왔고, 김 등(1991)의 연구에서는 BOD, DO, T-N, T-P에 적용한 RI가 1.0~2.5의 값을 나타내었다.

3.2. 장래유달오염부하량 산정

Fig. 1과 같이 4개 구역에서 발생하는 오염부하량 중 인구와 토지이용상태는 수학적 방법인 추세선을 이용하여 예측한 증감비율을 적용하였고, 축산은 사회적 여건에 따라 변동이 커서 예측이 곤란하므로 현 상태를 유지하는 것으로 가정하였다. 양식장은, 담수화가 시작되면 해수 양식장을 운영할 수 없으므로 내수면 양식장만 고려하였다.

이 구역에 있는 대다수의 산업이 5종이므로 산업폐수 발생량은 크게 증가하지 않고 현 상태로 유지된다고 가정하였고, 간척지는 2012년에 농지로 사용되므로 간척지를 논으로 가정하고 오염물질 배출량을 산정하였다. 2008년과 2012년의 장래오염부하량은 농업기반공사(1996, 1997, 1998,

1999, 2000, 2001)의 환경영향조사보고서에서 이용한 환경부의 오염원단위를 적용하여 산정하였다. 한편, 화옹호의 수질보전대책은 농업기반공사·농어촌연구원(2001)과 관계기관(2002)에서 계획하고 있는 상류 오염원대책(하수처리시설 2개소, 마을하수처리시설 5개소, 축산폐수저장액비탱크, 비점오염원 처리시설)과 호내 대책(인공습지 조성, 수초저류지 조성, 침강지 조성, 인공 식물섬)을 고려하였다.

유달물은 농업기반공사(2001)에서 산정한 값이 장래에도 동일하다는 가정하에 구역별로 적용하였다. 최종적으로 산정된 장래유달오염부하량은 Table 7과 같다.

3.3. 장래수질예측

Table 7의 장래유달오염부하량과 경기개발연구원(1999)의 실측 유량자료를 기초로 호내 담수화 실시년인 2008년과 간척지개담공사 및 농업용수 사용 개시년인 2012년의 COD, T-N, T-P 농도를 예측하였다(Table 8, Fig. 3).

한편, 우리나라 호소수질환경기준에는 COD가 정해져 있으나 WASP6 모형에서는 BOD가 모의되므로, 화옹호 유입 하천에서 측정된 COD, BOD 간의 상관관계를 분석하여 식 (4)를 얻었고 이를 이용해서 모델에 입력할 때는 COD를 BOD로, 모의치를 출력할 때는 BOD를 COD로 변환하였다.

$$Y = 0.6321X - 0.037 \quad (X = \text{COD}, Y = \text{BOD}, R^2 = 0.7319) \quad (4)$$

장래수질예측결과, 화옹호에 대한 수질보전대책이 예정대로 실시되더라도 2008년 평균 T-N 1.36mg/L, T-P 0.100mg/L, 2012년 평균 T-N 2.66mg/L, T-P 0.128mg/L에 이를 것으로 전망되었다. 이것은 Table 1의 기준에 근거해 볼 때 화옹호의 수질이 부영양 내지 과영양상태에 달할 것임을 보여준다고 할 수 있다. 따라서 화옹호의 부영양화를

Table 5. Values of reaction coefficients in the EUTRO6 model for the Hwaong reservoir

ISC	CONST	Manual	Value	ISC	CONST	Manual	Value
11	K1320C	0.09-0.13	0.04	52	KID	0.02	0.02
12	K1320T	1.08	1.08	57	PCRB	0.025	0.025
41	KIC	2.0	0.1	58	NCRB	0.25	0.25
42	KIT	1.069	1	71	KDC	0.16-0.21	1
46	CCHL	30.0	30	72	KDT	1.05	1.05
47	ISI	200-750	300	81	OCRB	2.6667	1.5
48	KMNGI	0.025	0.1	91	K1013C	0.075	0.07
49	KMPGI	0.001	0.003	92	KIO13T	1.08	1.08
50	KIRC	0.125	0.125	100	K58C	0.22	0.5
51	KIRT	1.045	1.045	101	K58T	1.08	1.08

Table 6. Reliability Index for calibration and verification results

Parameters	DO	BOD	T-N	T-P
Calibration	1.16	1.66	3.06	3.10
Verification	1.13	1.96	2.11	1.48

Table 7. Delivered pollutant loadings in 2008 and 2012 of the Hwaong watershed with water quality management plans (unit : kg/day)

Watershed	Year	BOD	T-N	T-P
I	2008	346	157	20
	2012	384	290	25
II	2008	384	160	21
	2012	401	235	24
III	2008	3,030	628	8
	2012	3,833	695	10
IV	2008	172	174	12
	2012	556	357	39
total	2008	3,932	1,119	61
	2012	5,174	1,577	98

Table 8. Simulated water quality of the Hwaong reservoir in 2008 and 2012 by seasons with water quality management plans (unit : mg/L)

Parameter	Year	Spring	Summer	Fall	Average	T-N/T-P
COD	2008	4.93	4.49	6.55	5.33	-
	2012	6.52	6.23	8.73	7.16	-
T-N	2008	1.41	0.94	1.72	1.36	-
	2012	2.68	2.02	3.27	2.66	-
T-P	2008	0.022	0.068	0.211	0.100	13.6
	2012	0.035	0.089	0.259	0.128	20.8

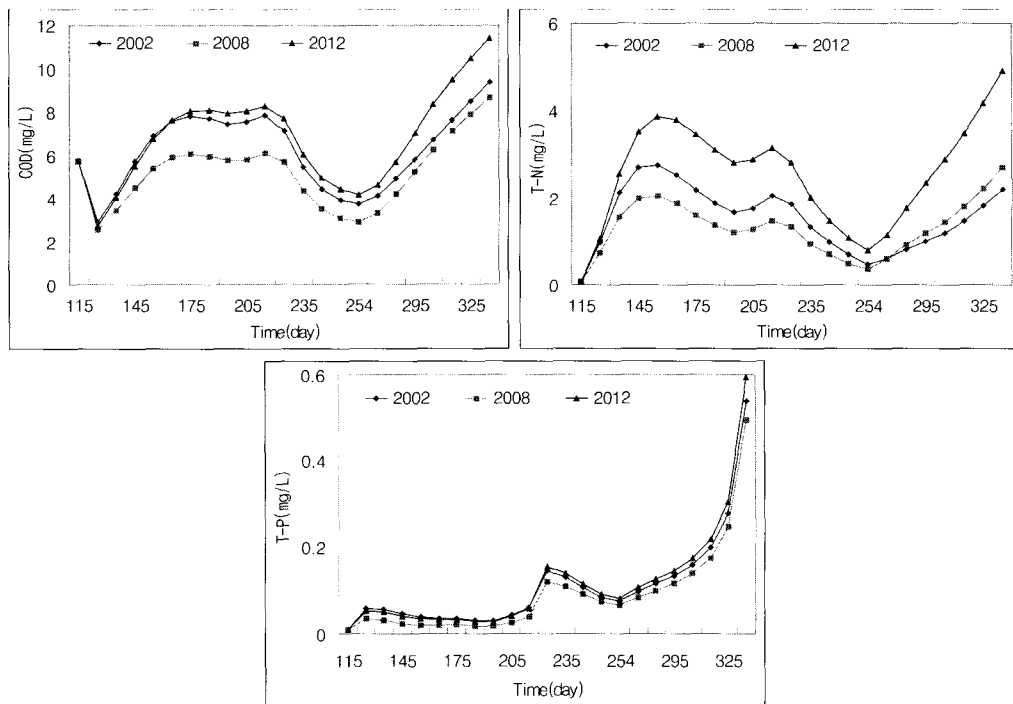


Fig. 3. Simulated water quality of the Hwaong reservoir in 2008 and 2012.

방지하기 위해서는 정부 당국에서 추진하고 있는 수질보전 대책 외에 영양염류 관리대책이 추가로 수립되어야 한다고 판단된다.

3.4. 화옹호의 부영양화 방지를 위한 영양염류 삭감을 산정

장래수질예측 결과, 화옹호에서의 T-N/T-P비는 2008년

13.6, 2012년 20.8로 계산되었다. 그러므로 2008년에 부영양화방지를 위해 삭감해야할 영양염류는 T-N, T-P를 모두 고려하고 2012년에는 T-N/T-P비가 16이상이므로 T-P만을 고려하였다.

본 연구에서의 목표수질인 T-N 0.475mg/L, T-P 0.02mg/L를 달성하기 위하여 남양천과 어은천에서의 영양염류 삭감률을 산정한 결과, 2008년에는 두 개의 하천에서 78%의 T-P를, 2012년에는 84%의 T-P를 삭감해 주었을 때 T-P가 0.02mg/L에 달해 목표수질을 달성할 수 있을 것으로 나타났다(Fig. 4). 그런데 2008년의 경우, T-P만을 삭감했을 때 T-N의 평균 농도가 1.36mg/L, T-P는 0.02mg/L로 예측되어 T-N/T-P비가 68로 매우 높게 나타나므로 T-N이 조류성장의 제한요소로 작용하지 않을 것으로 판단되어(환경부, 2001), 2008년에는 T-N을 삭감에서 제외하였다. 따라서, 화용호의 부영양화 방지는 T-P의 삭감이 관건일 것으로 예상된다.

한편, 아직 우리나라에는 호수의 영양상태를 판단할 수 있는 지표가 없는 실정이므로, 우리나라의 인공담수호에 적합한 부영양화 지표가 만들어지면 이를 토대로 보다 더 정밀한 연구가 진행되어야 할 것으로 보인다.

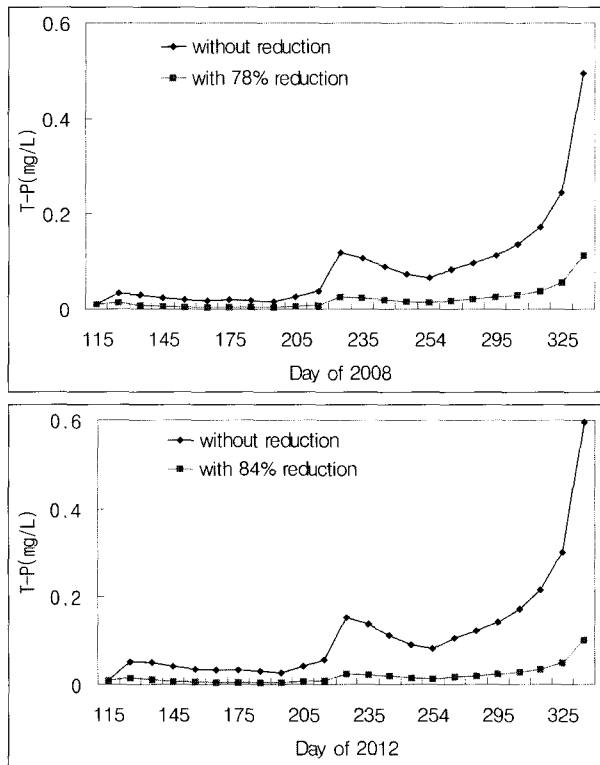


Fig. 4. Simulation of T-P concentration in 2008 and 2012 with nutrient reduction to Namyang and Eoeun streams.

4. 결론

WASP6 모형을 이용하여 화용호의 장래수질을 예측하고 호수의 부영양화 방지를 위한 영양염류 삭감률 산정을 목적으로 한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

1. WASP6 모형의 적용성 평가를 위해 DO, BOD, T-N, T-P 항목의 보정 및 검증 결과에 대한 RI값을 분석한 결과, 보정에서는 RI값이 1.16~3.10, 검증에서는 1.13~2.11로 향상되어 화용호의 장래수질예측에 모형을 적용할 수 있는 것으로 판단되었다.
2. 정부 관계기관에서 계획하고 있는 화용호 수질보전대책을 참고하여 장래유달오염부하량을 산정하였고 이를 토대로 2008년과 2012년의 수질을 예측한 결과, 담수화가 시작되는 2008년에는 COD 5.33mg/L, T-N 1.36mg/L, T-P 0.100mg/L로 모의되었고, 농업용수 사용 개시년인 2012년에는 COD 7.16mg/L, T-N 2.66, T-P 0.128mg/L로 각각 모의되었다.
3. T-N, T-P의 예측 결과를 Vollenweider 등이 제시하고 있는 호수영양상태 기준에 비추어 보면 화용호는 부영양화 내지 과영양상태에 달할 것으로 보이며 따라서 정부의 수질보전대책 외에 부영양화 방지를 위한 추가대책이 필요할 것으로 판단된다.
4. 화용호의 부영양화를 방지하기 위해 목표수질을 Vollenweider 등이 제시하고 있는 중영양상태로 하고 그 중간값인 T-N 0.475mg/L, T-P 0.02mg/L를 달성하기 위해 일정을 삭감법을 이용하여 남양천과 어은천의 T-P를 삭감한 결과, 2008년에는 78%, 2012년에는 84%를 추가로 삭감해야 하는 것으로 나타났다. 이때 T-N/T-P비가 16을 초과함에 따라 T-N이 조류성장의 제한요소가 아닐 것으로 보여 T-N은 삭감하지 않았다. 따라서, 화용호의 부영양화 방지는 T-P의 삭감이 관건일 것으로 예상된다.
5. 아직 우리나라에서는 호수의 부영양화를 판단할 수 있는 지표가 없는 실정이므로, 우리나라의 인공담수호에 적합한 부영양화 지표가 만들어지면 이를 토대로 보다 더 정밀한 연구가 진행되어야 할 것으로 보인다. 또한 본 연구에서는 활용할 수 있는 자료가 매우 제한되어 있었으므로, 향후 더 많은 자료가 축적되어 자료의 신뢰성이 충분히 확보된다면 보다 더 정확한 연구가 될 수 있을 것으로 보인다.

참고문헌

경기개발연구원, 화용호 오염원 및 부영양화 평가와 수질개선을 위한 종합연구, pp. 4-117 (1999).
 경인지방환경청 홈페이지, <http://kremo.me.go.kr/>
 관계기관합동(경인지방환경관리청, 경기도·화성시·농업기반공사), 화용호 수질보전대책 세부추진계획(안), pp. 5-44 (2002).
 김정욱, 이종호, 댐호의 2차원 수질예측기법 개발에 관한 연구, 대한환경공학회지, 13(4), pp. 267-275 (1991).
 농림부, 영산강지구 담수호 수질관리 대책수립 조사연구, pp. 478-479 (1999).
 농업기반공사, 화용지구 간척지 개발사업 환경영향조사보고서, pp. 105-108 (1996).
 농업기반공사, 화용지구 간척지 개발사업 환경영향조사보고서, p. 120 (1997).
 농업기반공사, 화용지구 간척지 개발사업 환경영향조사보고

- 서, pp. 141-143 (1998).
- 농업기반공사, 화옹지구 간척지 개발사업 환경영향조사보고서, pp. 146-148 (1999).
- 농업기반공사, 화옹지구 간척지 개발사업 환경영향조사보고서, pp. 147-149 (2000).
- 농업기반공사, 화옹지구 간척지 개발사업 환경영향조사보고서, pp. 142-144 (2001).
- 농업기반공사, 화옹지구 간척지 개발사업 환경영향조사보고서, pp. 63-169 (2002).
- 농업기반공사, 화옹지구 간척지 개발사업 환경영향평가 협의내용변경계획서, pp. 134-171 (2003).
- 농업기반공사 · 농어촌연구원, 화옹지구 간척지 개발사업 담수호수질개선대책 조사보고서(I), pp. 253-671 (2001).
- 사성오, EUTROS 모델을 이용한 총주호 부영양화 평가, 충북대학교 대학원 석사학위논문 (1998).
- 서동일, 대청호의 성층현상에 의한 부영양화 특성과 수질관리 방안에 관한 연구, *대한환경공학회지*, **20**(9), pp. 1219-1234 (1998).
- 환경부, 한국의 호소환경조사기법 개발에 관한 연구-요약보고서, pp. 114-125 (2001).
- Jorgensen, S. E., *Reservoir management*, Pergamon press (1980).
- Vollenweider, R. A., and Kerekes, J., *OECD cooperative program on monitoring of inland water*, Synthesis Report (1980).