

CE-QUAL-W2 모델을 이용한 임하호 선택배제시설의 효과분석

이상욱 · 김정곤[†] · 노준우 · 고익환

한국수자원공사 수자원연구원

Assessment of Selective Withdrawal Facility in the Imha Reservoir Using CE-QUAL-W2 Model

Sanguk Lee · Jeongkon Kim[†] · Joonwoo Noh · Ick Hwan Ko

Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation

(Received 11 August 2006, Accepted 13 February 2007)

Abstract

For efficient turbid water withdrawal in the Imha reservoir, a selective withdrawal facility was recently installed and operated during summer season of year 2006. In this research, CE-QUAL-W2 model was utilized to assess the efficiency of the selective withdrawal facility, in comparison with the original surface withdrawal, on turbid water management. Model calibration was carried out using data observed at four automatic monitoring stations in the reservoir. It was found that the model appropriately simulated, with the RMSE less than 5.2 NTU, the observed vertical and horizontal distributions of water temperature and turbidity as well as the location of maximum turbid water at each monitoring station. The analysis results showed that selective withdrawal is more effective in removing high turbid water than surface withdrawal as selective withdrawal contributed to reducing 35 Mm³ of high turbidity water (> 100 NTU) in the reservoir by increasing outflows of high turbid water. Therefore, effective management of turbid water in the reservoir can be achieved by changing locations of intake depending on turbid water distribution conditions. The results of this study will provide some basic information for establishing better operation strategies to cope with turbid water problems.

keywords : CE-QUAL-W2, Imha reservoir, Selective withdrawal, Turbid water

1. 서론

홍수기의 탁수유입으로 인하여 대부분의 다목적댐에서는 호내에서의 탁수층 채류와 하류로 장기간 탁수가 방류됨으로 인한 민원의 제기는 물론 정수장의 수처리비용 증가로 많은 문제를 초래하고 있다(정 등, 2005). 임하호에서는 2002년과 2003년의 태풍 '루사'와 '메미'로 인하여 호내로 유입된 고탁수가 가을철 전도현상으로 전 수층으로 확산되어 장기간 높은 탁도가 유지된 바 있으며 2003년 11월에서 2004년 4월까지 방류가 중단된 바 있다. 임하호는 유역의 53%가 풍화되기 쉬운 미세한 적갈색 점토질의 퇴적암으로 구성되어 있으며, 입경이 미세하고 엽편상의 형태를 띠고 있어 침강에 장시간이 소요되고 또한, 특유의 색으로 인하여 동일한 탁도의 다른 저수지의 탁수에 비하여 더욱 탁하게 느껴진다(한국수자원공사, 2004).

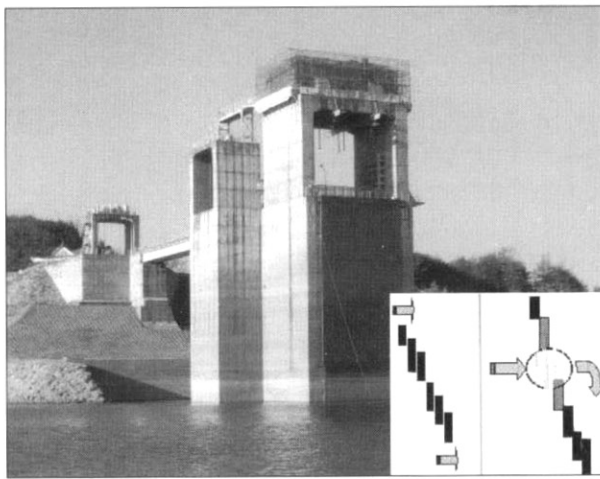
이에 대한 대책으로 임하 댐 유역에서의 탁수발생을 저감하고 유입된 탁수를 효과적으로 배제하며 영향을 최소화하기 위하여 약 4천억원의 예산을 들여 장·단기 대책을 수립하여 시행중에 있으며 호내 대책의 일환으로 탁도자동

측정장치와 취수설비 개량이 시행하고 있다. 임하호에 설치된 기존의 취수설비는 표층에서부터 하부로 내려가거나 최하단의 문을 상부로 취수문을 개도할 수 있던 직선형 다단식 표면취수설비였으며 탁수가 유입되어 댐측에 도달하는 경우 이를 배제하기 위해서는 원하는 수심까지 수면에서부터 취수문을 내리는 구조였다. 이는 중층으로 탁수가 유입되는 경우 취수문을 중층까지 내려 고탁도의 물뿐만 아니라 표층의 깨끗한 물까지 같이 배제하여 방류탁도는 낮아질 수 있으나 탁수배제의 측면에서는 효율이 떨어질 수 밖에 없었다(Fig. 1(b)). 이를 개선하여 원하는 수심에서 선택적으로 배제가 가능하도록 문비를 분리하고 권양기를 설치하여 중층으로 유입되는 고탁수가 원활히 배제되도록 시설을 개선하였다(Fig. 1(c)).

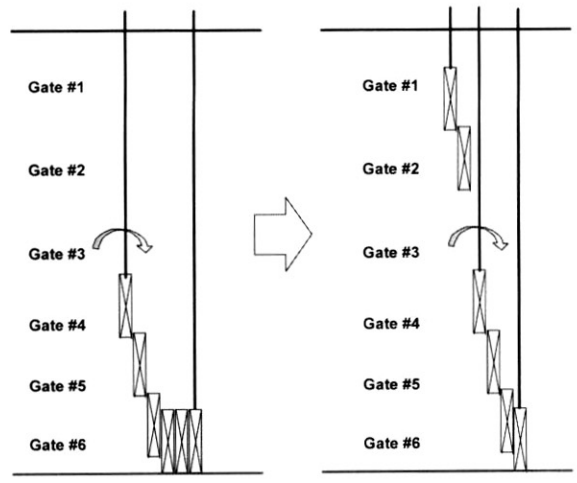
지금까지 호내 탁수거동의 해석에 관한 연구는 다양하게 수행되어 왔으나(김 등, 2001; 박 등, 2003; 이 등, 2005; 정, 2004; 정 등, 2004, 2005) 이러한 선택취수설비에 대한 효과분석은 다루어지지 못한 실정이다. 이를 위하여 본 연구에서는 호내 탁수거동 해석에 많이 적용된 바 있는 CE-QUAL-W2 모형을 이용, 선택취수로 인한 호내 탁수 저감 효과를 정량적으로 분석하였다.

[†] To whom correspondence should be addressed.

jkkim@kwater.or.kr



(a) Picture of intake tower



(b) Old gate type

(c) New gate type

Fig. 1. Selective withdrawal facility of the Imha reservoir.

2. 연구방법

2.1. 연구대상지 개요

임하호는 낙동강의 지류인 반변천에 위치하고 있으며, 저수면적은 26.4 km², 총저수용량은 595 Mm³이며, 유역면적은 1,361 km²이고, 주요 유입하천은 본류인 반변천과 용전천, 대곡천 등이 있다. 반변천의 유역면적은 857 km²로서 전체유역면적의 63%를 차지하며, 용전천은 후평리 지점에서 반변천과 합류하는데 유역면적은 402.6 km²이고 전체유역면적의 30%를 차지하며, 대곡천은 유역면적 97.5 km²로서 총 유역면적의 7% 정도를 차지한다(Fig. 2).

유입탁수를 모니터링하기 위하여 영양, 광덕, 청송의 상류 3개 지점과 지촌교, 도연교, 수곡교, 취수탑, 댐측(2개

소)의 호내 5개 지점 및 하류의 조정지점에 탁도자동측정장치가 설치되어 있으며 호내에서는 수심별로 측정이 이루어지고 있다.

2.2. CE-QUAL-W2 모형 구축

선택취수시설의 설치에 따른 효과를 평가하기 위하여 2차원 수리 및 수질 수치모형인 CE-QUAL-W2를 이용하였다. CE-QUAL-W2는 미 공병단에서 개발한 수평방향에 대하여 평균된 연직 2차원 모형으로, 지배방정식은 연속방정식, 흐름방향 및 수심방향 운동량 방정식, 자유수면방정식 및 상태방정식, 이송확산방정식 등으로 구성된다(Cole et al., 2003). 특히, 모형에서 상류 소구간의 밀도분포를 고려하여 선택취수가 다음과 같이 계산된다.

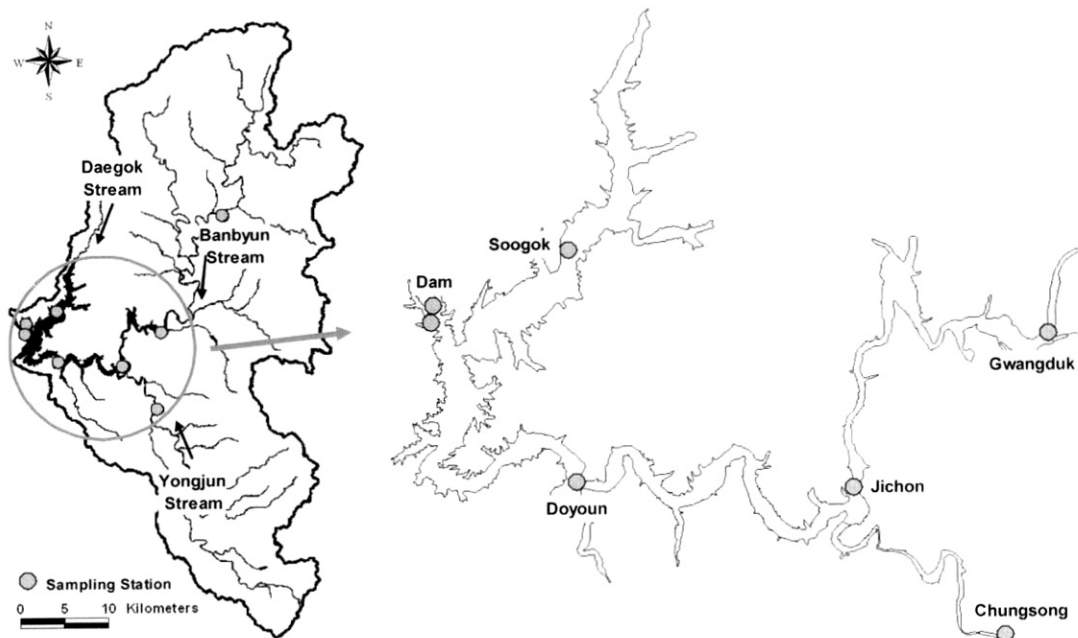


Fig. 2. The watershed of the Imha reservoir.

$$d = C \left(\frac{Q}{N} \right)^{1/3} \tag{1}$$

$$N = \sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho} \frac{g}{Z}} \tag{2}$$

$$V_k = 1 - \left[\frac{\rho_k - \rho_o}{\rho_l - \rho_o} \right]^2 \tag{3}$$

여기서, d 는 취수구간 높이의 1/2 거리, C 는 분산계수, Q 는 총방류량(취수량), N 는 Brunt-Vaisala frequency, $\Delta\rho$ 는 취수경계면과 취수위치와의 밀도차, ρ 는 취수위치에서의 밀도, g 는 중력가속도, Z 는 취수경계면에서 취수위치까지의 거리, V_k 는 k 번 수층에서의 유속, ρ_k 는 k 번 수층에서의 밀도, ρ_o 는 방류구에서의 밀도, ρ_l 취수경계면에서의 밀도이다. 내부에서 계산된 밀도차와 관측된 방류량에 의해서 취수영향범위가 설정되며 이를 통하여 유속이 계산된다. 이러한 계산과정은 미공병단의 SELECT모델(Michael et al., 2004) 및 CE-QUAL-R1 모델(Environmental laboratory, 1985)에서도 동일한 방식으로 적용된다.

임하호의 본류인 반변천과 주요 유입지류인 용전천, 대곡

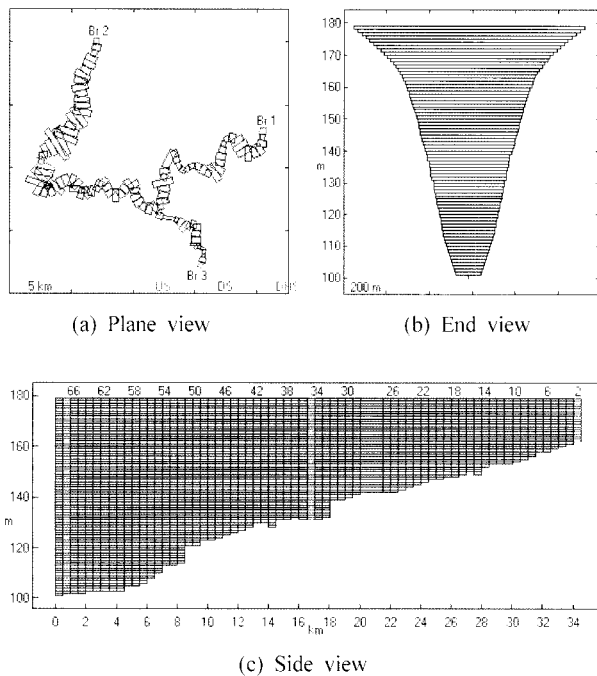


Fig. 3. Segmentation of the Imha reservoir.

천에 대하여 고려하였고 흐름방향으로 116개 소구간과 수심방향으로 80개의 수층으로 구분하였다(Fig. 3).

수온 및 탁수분포에 영향을 줄 수 있는 바람차폐계수(wind sheltering coefficient, WSC), 수표면에서의 태양복사 에너지 흡수율(solar radiation absorbed in surface layer, BETA) 및 물의 광소멸계수(extinction coefficient for pure water, EXH20)를 대상으로 초기값(Default)을 기준으로 $\pm 50\%$ 의 범위 내에서 매개변수 교란(parameter perturbation)을 통한 민감도분석을 수행하고, 모델의 보정을 실시하였다. 보정된 CE-QUAL-W2 모형의 주요 계수는 Table 1과 같다.

3. 결과 및 토의

3.1. 임하호내 수온 및 탁수모의

2006년의 태풍 에위니아와 장마로 인하여 7월 10일에서 17일까지 임하호에는 총 3억4천만 m^3 의 유량이 유입되었으며, 청송지점과 광덕지점에서 최고탁도가 2,672 NTU, 2,390 NTU로 나타났으며, 댐측에서의 최고탁도는 1,055 NTU로 관측되었다(Fig. 4). 또한, 이 기간 유입된 탁수 중 90% 이상인 306 Mm^3 이 30 NTU 이상으로 나타났으며, 200 NTU 이상은 56%인 190 Mm^3 으로 조사되었다(Table 2). 이러한 조건하에서 선택취수시설을 이용하여 2006년 7월 10일에서 17일까지의 기간 중에서 7월 11일 11시에서 16일 14시까지 EL. 131~139 m, 7월 16일 14시에서 18일 18시까지 EL. 131~142 m에 위치한 수문을 통하여 선택취수를 실시하였고, 17일 이후에는 여수로 방류를 실시하였다. 이러한 운영결과를 바탕으로 선택취수설비를 가동한 10일에서 17일의 기간 동안 호내의 자동측정장치에서 측정된 자료를 적용하여 호내의 탁수분포 및 거동을 모의하였다.

CE-QUAL-W2를 이용한 탁수모의에서 가장 어려운 점은 물리적 인자가 아닌 탁도를 적절히 모의하는데 있다. CE-QUAL-W2 모형에서 밀도는 온도와 SS의 함수로 다음과 같은 식으로 계산된다(Cole et al., 2003) :

$$\rho = \rho_{T_w} + \Delta\rho_s \tag{4}$$

여기서, ρ 는 밀도, ρ_{T_w} 는 수온의 함수로서의 물의 밀도, $\Delta\rho_s$ 는 부유물질에 의한 밀도의 증가분이며 다음의 식이 사용된다.

Table 1. Numerical coefficients of CE-QUAL-W2 model

Coefficients	Units	Default values	Calibrated values
Longitudinal eddy viscosity	m^2/sec	1	1
Longitudinal eddy diffusivity	m^2/sec	1	1
Chezy coefficient	$m^{1/2}/sec$	70	70
Wind sheltering coefficient	-	0.7~1.0	0.85
Solar radiation absorbed in surface layer	-	0.45	0.60
Extinction coefficient for pure water	$/m$	0.45	0.45

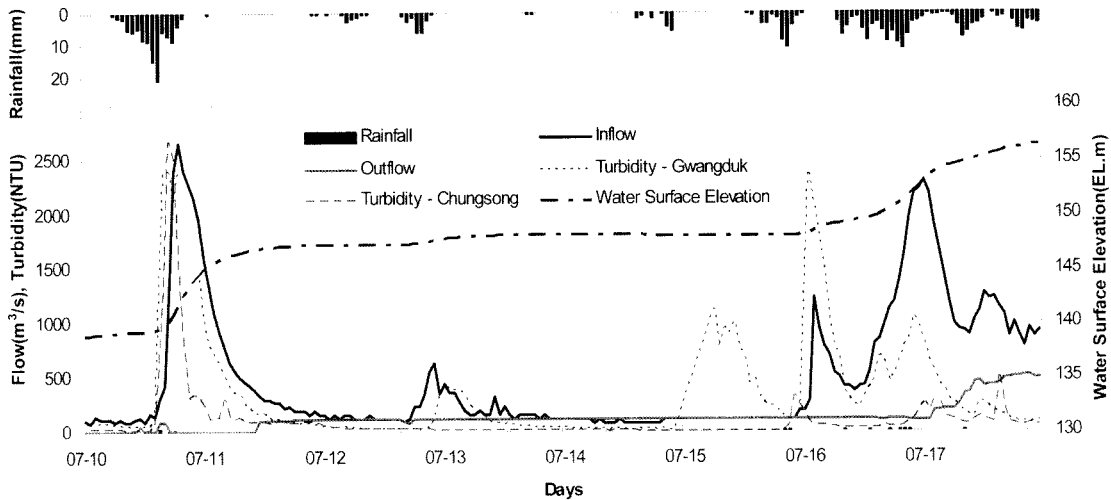


Fig. 4. Hourly variations of hydrologic parameters in 2006.

Table 2. Inflows of turbid water during July 10th ~ 17th, 2006

Classification	> 30 NTU	> 100 NTU	> 200 NTU	> 500 NTU	Total inflow
Inflows (10 ⁶ m ³)	306.5	235.4	190.1	120.4	340.4
Ratio (%)	90.0	69.1	55.8	35.4	-

$$\rho_{T_w} = 999.8452594 + 6.793952 \times 10^{-2} T_w - 9.095290 \times 10^{-3} T_w^2 + 1.001685 \times 10^{-4} T_w^3 - 1.120083 \times 10^{-6} T_w^4 + 6.536332 \times 10^{-9} T_w^5 \quad (5)$$

$$\Delta \rho_S = (\Delta \rho_{sal} \text{ or } \Delta \rho_{TDS}) + \Delta \rho_{SS} \quad (6)$$

여기서, $\Delta \rho_{sal}$ 는 염분도에 의한 밀도 변화, $\Delta \rho_{TDS}$ 는 염분도에 의한 밀도 변화, $\Delta \rho_{SS}$ 는 염분도에 의한 밀도 변화로서 강우로 인한 탁수 유입시에는 $\Delta \rho_{TDS}, \Delta \rho_{sal} \ll \Delta \rho_{SS}$ 로서 식 (6)의 $\Delta \rho_S$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

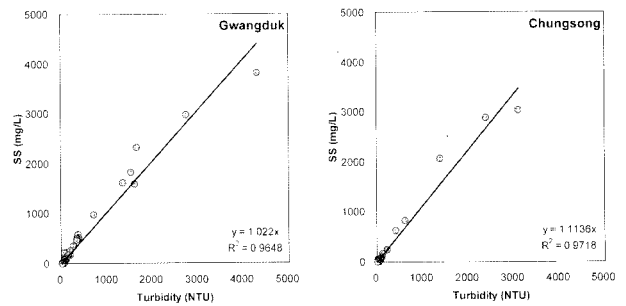
$$\Delta \rho_S = \phi_{SS} \left(1 - \frac{1}{SG}\right) \times 10^{-3} \quad (7)$$

여기서, ϕ_{SS} 는 부유물질의 농도, SG 는 부유물질의 비중이며 SG 를 2.65로 가정하는 경우 다음 식으로 정리된다.

$$\Delta \rho_S = 0.00062 \phi_{SS} \quad (8)$$

이를 바탕으로 SS농도에 따른 밀도의 영향을 계산하여 보면 20°C의 물에 SS가 있는 경우 아래의 Table 3과 같은 결과를 나타내게 되며 20°C, SS 2,500 mg/L의 물인 경우 9.4°C에 해당하는 물과 같은 밀도를 갖게 된다.

CE-QUAL-W2 모형에서는 탁도에 대한 직접적인 모의가 불가능하기 때문에 본 연구에서는 임하호에 대한 기존의 연구(이 등, 2005; 한국수자원공사, 2004)와 같이 탁도와



(a) Gwangduk site (b) Chungsong site
Fig. 5. Relation of turbidity and SS in major streams.

SS의 상관관계를 이용하여 모의를 수행하였다. 유입부의 하천에서 측정된 탁도와 SS의 상관관계는 1:1에 가까운 결과를 나타내고 있으며(Fig. 5), 이러한 관계식을 이용하여 수온과 탁수분포를 모의하였고 그 결과를 Fig. 6에 제시하였다. 밀도의 과대 산정으로 인해 탁수가 관측 값보다 심층으로 유입되게 되어 수온과 SS(탁도)에 대한 관측 값과 모의 값에 많은 차이가 남을 알 수 있다. 이러한 문제를 해결하고, 유입탁수의 거동을 적절히 모의하기 위하여 시행 착오를 통해 유입부에서의 SS와 탁도관계를 산정한 결과, $SS = 0.4 \times \text{Turbidity}$ 인 경우에 가장 좋은 모의 결과를 얻을 수 있었다.

Fig. 7은 취수탑을 제외한 호내 4개 지점에서의 수온 및 탁도 모의결과를 보여주고 있다. Fig. 8은 모의 기간동안 댐축의 수표면, 15 m, 그리고 30 m 깊이에서의 수온 및 탁

Table 3. Equivalent temperatures at given SS concentration

SS (mg/L)	0	500	1,000	2,000	2,500
Density (kg/m ³)	998.209	998.519	998.829	999.449	999.759
Equivalent temp (°C)	20.0	18.4	16.7	12.5	9.4

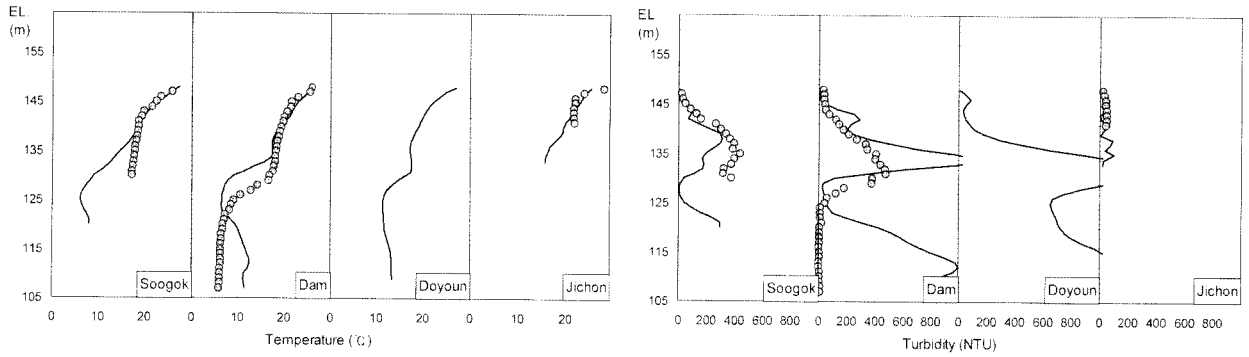
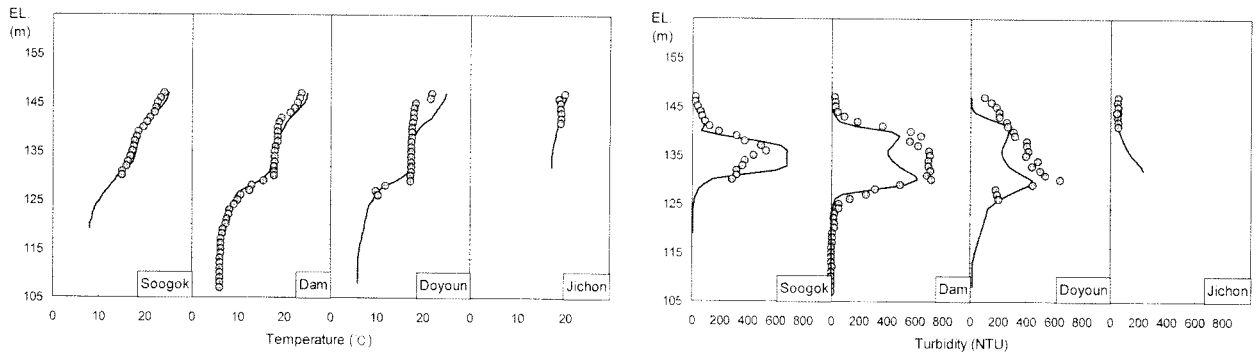
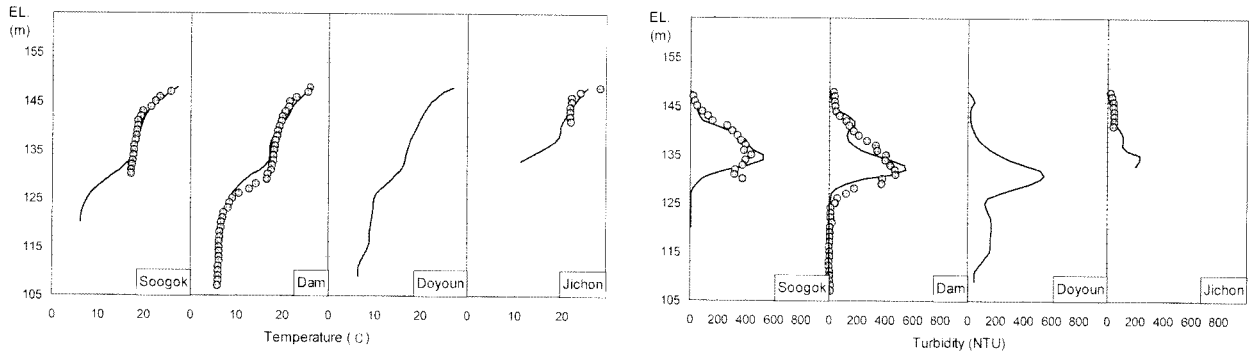


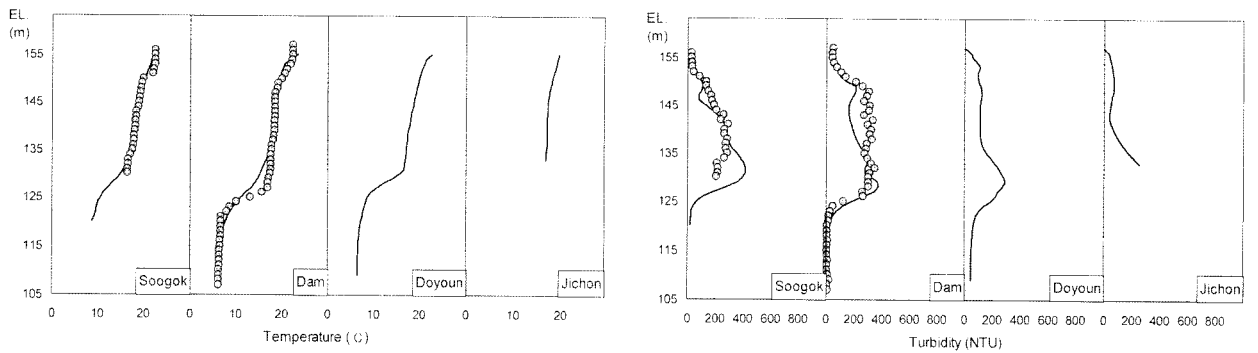
Fig. 6. Comparison of observed and simulated water temperature and turbidity using SS and turbidity relationship of inflow tributaries in the Imha reservoir ((●) observed value; (—) : simulated value).



(a) July 12



(b) July 14



(c) July 17

Fig. 7. Comparison of observed and simulated water temperature and turbidity of the Imha reservoir ((●) observed value; (—) : simulated value).

도의 시간적 변화를 보여주고 있다. Fig. 7과 Fig. 8에 나타난 바와 같이, 모의결과가 수심별 수온 및 탁도 분포와 최고 탁도층이 발생하는 수심을 적절히 모의함을 알 수 있다.

탁수모의 결과와 실측자료와의 오차를 비교하기 위하여 절대평균오차비율(MAPE: Mean Absolute Percent Error)과 절대평균오차(RMSE: Root Mean Square Error)를 식 (9)와

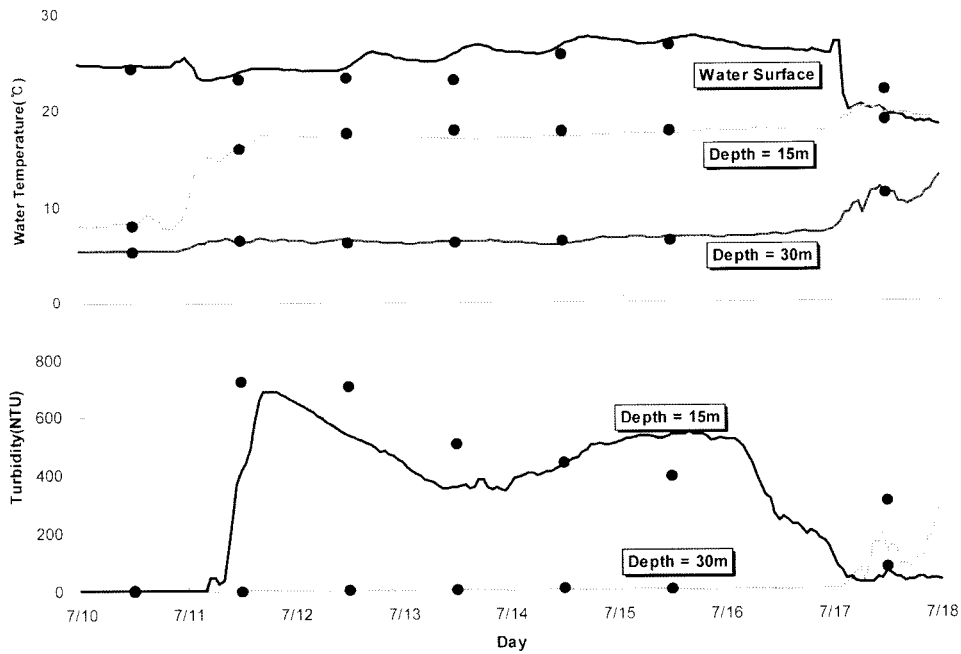


Fig. 8. Temporal variations of temperature at selected depths at the dam site ((●) observed value; (—) : simulated value).

(10)을 이용하여 계산하였다.

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{t_{m,i} - t_{p,i}}{t_{p,i}} \times 100 \right| \quad (9)$$

$$AME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |t_{m,i} - t_{p,i}| \quad (10)$$

분석결과 탁수모의결과는 절대평균오차 5.2 NTU로서 양호한 결과를 나타내었으나, 절대평균오차비율로는 73.2%의 큰 오차를 보였다. 탁수모의는 저탁도층 보다는 최고탁도층 및 최고탁도를 예측하는 것을 목적으로 하기 때문에 관측된 데이터 중에서 50 NTU 및 100 NTU의 데이터를 분리하여 비교를 실시하였다. 그 결과 절대평균오차는 11.3~12.6 NTU로 증가하였으나, 절대평균오차비율은 감소하는 결과를 나타내어 전반적으로 고탁도 및 고탁도층에 대한 모의결과가 양호함을 알 수 있다(Table 4).

Table 4. Comparison of error between observed and simulated turbidity

Turbidity	MAPE (%)	RMSE (NTU)
All data	73.2	5.2
>50 NTU	18.5	11.3
>100 NTU	15.7	12.6

3.2. 선택취수설비 설치에 따른 효과분석

2006년에 처음으로 설치되어 운영중인 선택취수시설에 대한 정량적인 평가가 필요하며, 이러한 효과분석을 수행함으로써 시설에 대한 운영방안을 수립과 장래에 건설되는 댐 및 선택취수시설에 대해서 기본 데이터를 제공할 수 있

을 것으로 판단된다. 선택취수시설을 설치하지 않은 경우 표층~7 m에서 탁수를 배제하였을 것으로 예상되며 이 경우를 현재 취수시설의 운영위치인 EL. 131~139 m, EL. 131~142 m에서 배제를 실시하는 경우와 비교하였다.

방류탁도를 통하여 결과를 분석해 보면 선택취수시설이 설치되어 있는 경우가 설치되어 있지 않은 경우에 비하여 전기간 동안에 높은 탁도의 물을 배제하고 있으며(Fig. 9), 100 NTU 이상의 고탁도의 물을 3배가량 배제할 수 있음을 보이고 있다(Table 5).

Fig. 10은 선택취수 유무에 따른 호내 탁수 분포를 보여 주고 있다. 250 NTU 이상의 탁수층과 점선으로 표시된 500 NTU 이상의 고탁도층이 선택취수 설치시의 경우 그 폭이 좁음을 볼 수 있으며 결과적으로 선택취수시설이 표층취수보다 탁수배제에 효과적인 것으로 판단된다. 또한, 호내에 잔류하고 있는 탁도의 분포를 분석해 보면 선택취수시설을 설치하지 않은 경우에 비하여 설치한 경우에 7월 17일 기준으로 30 NTU, 100 NTU, 200 NTU, 500 NTU 이상의 탁수층이 각각 약 13 Mm³, 35 Mm³, 35 Mm³, 21 Mm³ 감소하여, 선택취수설마로 인한 고탁수의 지감효과가 큰 것으로 나타났다(Table 6).

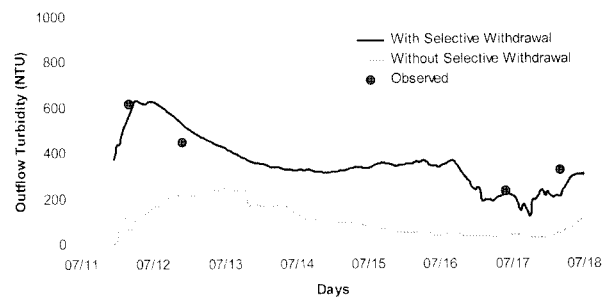


Fig. 9. Simulated and observed outflow turbidity variation.

Table 5. Outflow volumes with different turbidity estimated with and without selective withdrawal

Outflows (10^6 m^3)	> 30 NTU	> 100 NTU	> 200 NTU	> 500 NTU
With selective withdrawal	81.8	81.8	74.8	8.9
Without selective withdrawal	75.5	27.8	10.8	0.0

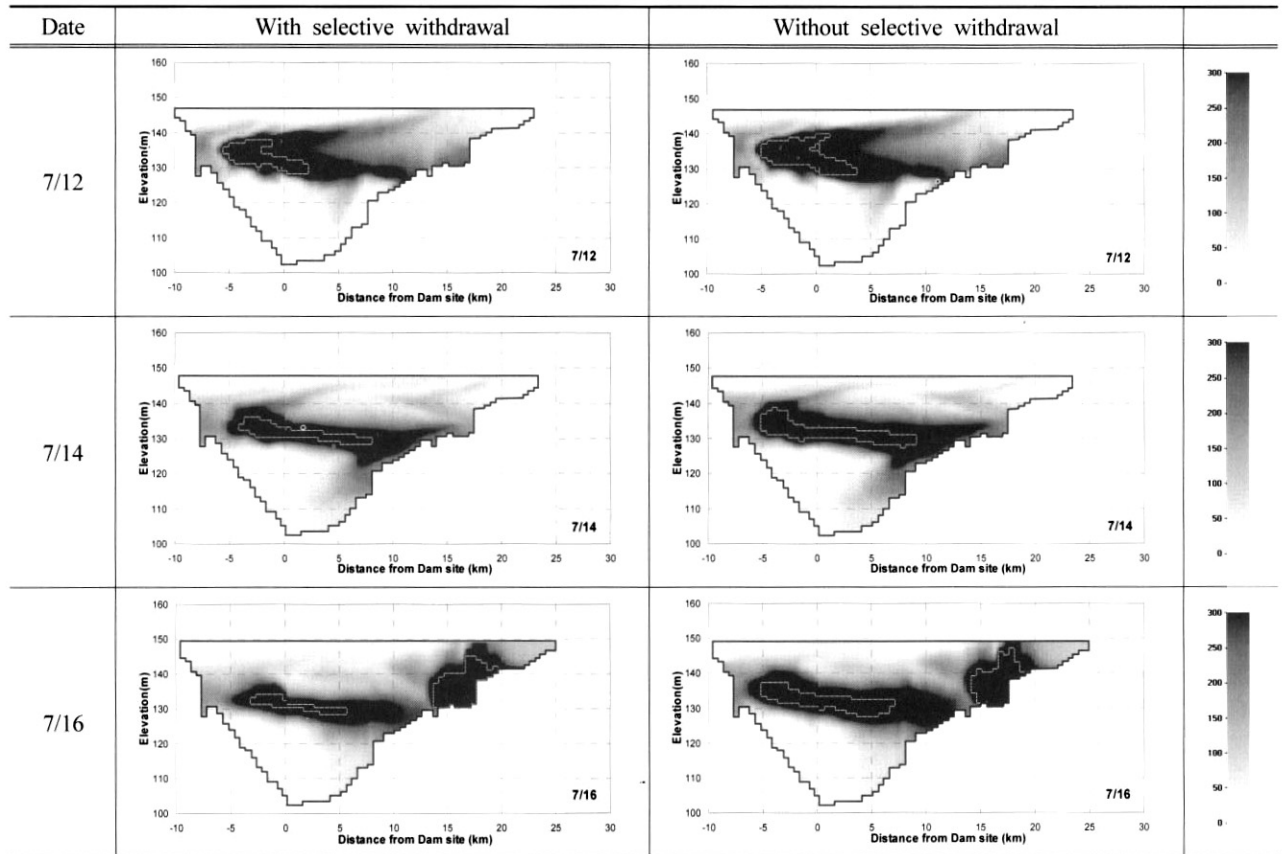


Fig. 10. Simulation results of turbidity variation in the Imha reservoir (Contour line indicates turbidity exceeding 500 NTU).

Table 6. Reservoir water volume exceeding specified turbidity

Turbidity		Volume (10^6 m^3)								
		7/9	7/10	7/11	7/12	7/13	7/14	7/15	7/16	7/17
>500 NTU	With selective withdrawal	0.0	5.9	38.9	24.6	20.0	16.9	12.9	13.4	2.8
	Without selective withdrawal	0.0	5.9	39.3	30.9	28.4	25.7	24.2	28.2	15.3
>200 NTU	With selective withdrawal	0.0	7.0	83.7	79.4	69.7	62.0	58.1	67.3	105.5
	Without selective withdrawal	0.0	7.0	84.7	86.4	81.7	78.7	82.6	97.5	140.7
>100 NTU	With selective withdrawal	0.0	7.6	103.1	111.3	107.9	100.4	93.1	109.8	191.7
	Without selective withdrawal	0.0	7.5	104.3	119.7	121.7	117.0	115.3	139.6	227.3
>30 NTU	With selective withdrawal	0.2	9.7	127.7	156.5	161.9	156.9	153.6	176.0	293.3
	Without selective withdrawal	0.2	9.9	129.4	163.2	172.1	170.9	168.9	194.8	314.5

4. 결론

하절기 임하호 내의 탁수배제를 위하여 설치된 선택취수 시설에 대한 효과를 분석하기 위하여 CE-QUAL-W2 모형을 이용하여 호내의 탁수 분포를 모의하고 보정된 모형을 이용하여 선택취수와 표면취수(표층~7 m)에 따른 탁수의 저감효과에 대한 분석을 수행하였다.

임하댐 유입부의 탁도자동측정시스템에서 측정된 수은 및 탁도자료를 이용하여 2006년 7월 10일에서 17일까지의 호내 탁수분포를 모의하였고 호내의 4개지점에 대하여 보정을 실시하였다. 보정결과 절대평균오차는 5.2 NTU를 나타내었으며, 50 NTU 및 100 NTU의 데이터를 분리하여 비교한 결과 절대평균오차는 11.3~12.6 NTU로서 전반적으로 고탁도 및 고탁도층에 대한 양호한 모의결과를 나타내었다.

이를 바탕으로 기존의 직선형 다단식 표면취수설비와 현재 운영중인 선택취수시설과 비교하여 모의를 수행하고 효과를 분석하였다. 분석결과, 선택취수시설이 설치되어 있는 경우가 설치되어 있지 않은 경우에 비하여 방류탁도가 높은 것으로 나타났으며, 호내의 탁수량 분석결과 미설치시에 비하여 설치시가 7월 17일 기준으로 30 NTU, 100 NTU, 200 NTU, 500 NTU 이상의 탁수층이 각각 약 13 Mm³, 35 Mm³, 35 Mm³, 21 Mm³ 감소하는 것으로 나타났다. 고탁도의 경우 선택취수설비로 인하여 큰 저감효과를 보이며 선택취수시설이 표층취수보다 탁수배제에 효과적인 것으로 판단되며 취수위치 변경 등 지속적인 관리를 통하여 효율이 증대될 것으로 판단된다. 또한, 효과분석 결과를 바탕으로 선택취수시설에 대한 운영방안을 수립할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 유입탁수의 거동을 모의하기 위하여, 호내의 탁도-SS 관계식을 사용하였다. 다른 방법으로 하천에서의 탁도와 SS의 상관관계를 적용하는 경우 큰 입자들이 유입부에서 침강되는 것에 대한 추가적인 데이터가 필요하다. 유입부의 하천에서의 입도를 정밀 분석하고 각 입경에 해당하는 SS와 탁도의 상관관계를 계산할 필요가 있으며, 입도별 침강속도를 고려하여 호내에서 침강되는 부분에 대한 세밀한 모의를 수행하고 이를 바탕으로 호내에서의 SS와 탁도에 대한 상관관계를 이용하여 환산하는 방식으로 적용이 가능할 것이며 이에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 한국수자원공사의 연구과제(KIWE-HEC-06-22)로 수행되었습니다.

참고문헌

- 김윤희, 김범철, 최광순, 서동일, 2차원 수리 수질모델(CE-QUAL-W2)을 이용한 소양호 수온 성층현상과 홍수기 밀도류 이동 현상의 모델링, *상하수도학회지*, **15**(1), pp. 40-49 (2001).
- 박기영, 한건연, 2차원 수치모형을 활용한 임하댐 탁도 분석 시스템 구축, *대한토목학회 2003년도 학술발표회 논문집(CD-ROM)*, (2003).
- 이용곤, 김영도, 박기영, 김우구, 임하호 탁도변화분석을 위한 2차원 수치모의, *대한토목학회 논문집*, **25**(4B), pp. 257-266 (2005).
- 정세웅, 성층화된 저수지로 유입하는 탁류의 공간분포 특성 및 연직 2차원 모델링, *대한환경공학학회지*, **26**(19), pp. 970-978 (2004).
- 정세웅, 박기영, 한건연, 전홍진, 임하호 탁수 거동 분석을 위한 CE-QUAL-W2 모형의 적용, *대한환경공학학회 2004 춘계 학술발표회 논문집*, pp. 1220-1225 (2004).
- 정세웅, 오정국, 고익환, CE-QUAL-W2 모형을 이용한 저수지 탁수의 시공간분포모의, *한국수자원학회 논문집*, **38**(8), pp. 655-664 (2005).
- 한국수자원공사, 임하댐 탁수저감방안 수립 보고서 (2004).
- Cole, T. M. and Wells, S. A., CE-QUAL-W2: A Two-dimensional, Laterally Averaged Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 3.1, User manual, Instruction Report EL-03-1 (2003).
- Environmental Laboratory, CE-QUAL-R1 : A Numerical One-Dimensional Model of Reservoir Water Quality; User's Manual, Instruction Report E-82-1 (1985).
- Michael, L. S., Steven, C. W. and Laurin, I. Y., SELECT Version 1 Beta : A One-Dimensional Reservoir Selective Withdrawal Model Spreadsheet, Instruction Report EL SR-04-1 (2004).