

다중회귀분석을 이용한 임하호 유입하천의 수온예측

이용곤^{*} · 이상욱 · 고덕구

한국수자원공사 수자원연구원

Water-Temperature Prediction of Streams Entering into Imha Reservoir using Multi-Regression Method

Yong-Kon Yi^{*} · Sanguk Lee · Deuk Koo Koh

Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation

(Received 16 June 2006, Accepted 2 August 2006)

Abstract

The regression models for the water temperatures of Ban Byeon Stream and Yong Jeon stream were developed using multi-regression method. It was also investigated that the applicability of the stream temperature prediction to two-dimensional numerical simulation to predict the vertical water temperature in Imha Reservoir. Air temperature and dew point as independent variables were selected to be applicable to cases with the different variation of flow rates. The data division of water temperature using a cutoff flow rate of 20 m³/s was found to reduce the prediction error of the stream temperature. The mean absolute percent error of the numerical simulation results of the vertical water temperature in Imha Reservoir using the regression models was 11%, which was only 4.3% larger than the simulation result using the measured stream temperature. Therefore, the regression models of the stream temperatures using multi-regression method applied in this study could be applied to predict the vertical water temperature in Imha Reservoir with a good accuracy.

keywords : Imha Reservoir, Multi-regression method, Stream temperature

1. 서론

하천의 수온은 수질항목중 중요한 인자로서 담수 생태계의 활력을 좌우하며(Morrill et al., 2005) 저수지로 유입되는 하천의 수온은 성층화된 저수지내의 거동과 직접적인 관계가 있다. 여름철 저수지의 수온분포는 높은 기온과 바람의 영향으로 성층화가 최고에 달하여 표층(epilimnion), 수온약층(thermocline) 및 심층(hypolimnion)으로 구분할 수 있다(Fischer et al., 1979). 성층현상이 심하면 유체는 연직 방향운동이 제한되고 상대적으로 수평방향운동이 활발하게 되며 유입하천의 수온이 저수지 표층의 수온보다 높거나 비슷하면 표층으로 유입되며, 표층의 수온보다 낮으면 표층 밑으로 유입된다.

하천수의 온도를 예측을 위하여 경험적 또는 회귀분석 모형과 물리적 모형(physical process model)이 개발되었다. 물리적 모형은 하천수의 온도에 영향을 미치는 하천지형, 전도, 복사 및 이송확산 등을 고려하는 모형(Taylor, 1998; Carron et al., 2001)으로서 정확한 결과를 나타낼 수 있다. 그러한 다양한 입력자료가 요구되며 계산시간이 많이 소요되며 수질모형에 적용하기 어려운 점이 있다. 경험식 또는 회귀모형은 계산시간이 상대적으로 적게 소요되며 수질모

형에 적용하기 쉬운 장점이 있는 것으로 알려져 있다(Neu-mann et al., 2003).

Hockey 등(1982)은 정오 수온, 유량 및 일일 최대 기온의 관계를 이용하여 일평균수온예측을 하였다. Mohseni 등(2002)은 S자형 회귀분석모형을 개발하여 일주일평균수온을 예측하였다. Nuemann 등(2003)은 기온과 유량을 독립변수로 채택하여 일최대수온을 예측하였다. 국내에서는 정 등(2005)은 기온, 이슬점온도, 유량을 이용하여 일평균수온을 예측한 연구가 수행된 바 있으며 이 등(2005)은 강우시 하천의 수온을 이슬점으로 추정하여 임하호 탁도변화를 연구한 바 있다.

다중회귀분석을 이용한 하천수의 온도예측시 독립변수는 기온, 유량, 이슬점, 수온 등을 선택하고 있으며, 이중 기온, 이슬점 및 수온의 연평균값과 표준편차는 유량에 비하여 변화가 심하지 않다. 또한 하천의 하상계수가 크고 연도별 유량변화가 심한 우리나라의 경우에는 유량을 독립변수중의 하나로 선택한 다중회귀분석결과는 유량변화가 상이한 경우에 적용하기 어렵다.

본 연구에서는 임하호 유입하천의 수온자동측정장치를 이용하여 모니터링한 수온, 기온, 이슬점, 및 유량의 변화를 비교하였으며 다중회귀분석법을 이용하여 수온예측 회귀식을 개발하였으며 적용성을 높일 수 있는 방법을 제시하였다. 또한 임하호 유입하천 실측수온과 예측수온을 저수

^{*} To whom correspondence should be addressed.
yongkon@kwater.or.kr

지의 수리 및 수질을 예측하는데 사용되는 2차원 수치모형인 CE-QUAL-W2의 입력자료로 사용하여 임하호내의 수온 분포를 수치모의하였으며 수치모의결과를 임하호내 7개 지점에서 13회 측정된 연직방향 수온자료와 비교하여 다중회귀분석을 적용한 수온예측결과의 임하호내 수온분포예측 가능성을 검토하였다.

2. 연구대상지 개요

2.1. 임하호 유역특성

임하호 유역면적은 1,361 km²이고, 주요하천은 반변천, 용전천, 대곡천 등이 있다(Fig. 1). 반변천은 전반적으로 굴곡이 심한 사행하천으로 평균하상경사는 1/500이며, 반변천과 용전천 합류점을 기준으로 반변천 유역면적은 857 km²로서 전체유역면적의 63%를 차지한다. 용전천은 후평리 지점에서 반변천과 합류하는데 유역면적은 402.6 km²이고 전체유역면적의 30%를 차지하며, 유로연장은 54.3 km이다. 대곡천은 유역면적 97.5 km²이고 유로연장은 19.0 km으로서 임하댐의 직상류 망천리에서 반변천과 합류하며 총 유역면적의 7%정도를 차지한다. 국가수자원관리 종합정보(WAMIS)에 의하면 임하호 유역의 최근 10년(1995년에서 2004년)의 연평균강우량은 1,085 mm로서 최저 강우량은 1995년 708 mm, 최대 강우량은 2003년 1,559 mm이며 연강우량의 70%가 6월에서 9월까지 발생하는 것으로 나타났다.



Fig. 1. The watershed of Imha Reservoir and main streams.

2.2. 임하호 유역의 기온, 이슬점 및 유량변화

2002년부터 2005년까지 6월에서 9월까지의 임하호 유역의 기온, 이슬점 및 유량변화는 Table 1과 같다. 기온과 이슬점의 경우, 평균값과 표준편차가 연도별로 거의 유사한 것을 알 수 있으며 표준편차는 평균값의 약 20%정도이다. 그러나 유량의 경우, 평균값은 최대는 27.6 m³/s이고 최소는 11.3 m³/s로 연도별로 큰 차이를 나타내며 또한 표준편차는 평균값의 230%정도로 변화가 상당히 큰 것을 알 수 있다.

2.3. 자동탁도계

임하호와 유입하천의 수온과 탁도 모니터링을 위하여 반변천의 진보(광덕교)와 용전천의 청송(덕천교)에 자동탁도계가 2004년 가을에 설치되어 운영중이다(Fig. 1). 임하호 유역에 설치된 자동탁도계는 미국 In-situ사의 Troll 9000로서 수온과 탁도를 1시간 간격으로 측정하며 수온측정범위는 -5 ~ 50°C, 정밀도는 ±0.1°C이다. 측정된 수온자료는 실시간으로 임하댐관리단으로 전송된다. 대곡천은 유역면적이 작고 유량이 상대적으로 작기 때문에 자동탁도측정장비가 설치되어 있지 않다.

3. 다중회귀분석을 이용한 수온예측

임하호 유입하천에서 측정된 자료를 이용하여 수온예측 다중회귀분석을 수행하였다. 다중회귀분석에는 임하호 유역 연평균 강우량의 70%가 발생하여 호내 수온 및 탁도변화가 가장 급격하게 변화하는 2005년 6월에서 9월까지 측정된 자료를 사용하였다. 수온예측에는 기온, 이슬점 및 유량을 독립변수로 선정하였으며 기온과 이슬점은 안동기상대의 자료를, 유량자료는 반변천 영양지점과 용전천 청송지점의 자료를 이용하였다. case 1은 기온, case 2는 기온과 유량, case 3은 기온과 이슬점, 그리고 case 4는 기온, 이슬점 및 유량을 독립변수로 채택하였다. 독립변수간의 다중공선성을 검정하기 위하여 공차한계(1-R_i²)와 분산팽창계수(Variance Inflation Factor, VIF)를 계산한 결과는 Table 2와 같다. 일반적으로 분산팽창계수가 10 이상인 경우에는 다중공선성(multi-collinearity)이 있는 것으로 알려져 있다(박, 1998). 따라서 독립변수간의 다중공선성은 낮은 것으로 볼 수 있다. 모형들의 결정계수(R²)를 계산한 결과는 Table 2와 같다. case 4의 결정계수가 가장 높은 것으로 나타났으나 독립변수에 유량이 포함되어 있으므로 유량의 변화가 상이한 경우에는 적용하기 어려울 것으로 판단된다.

Table 1. Air temperature, dew point and flow rate from June to September

Year	Air temperature (°C)		Dew point (°C)		Flow rate (m ³ /s)	
	Average	Standard deviation	Average	Standard deviation	Average	Standard deviation
2002	22.5	4.4	15.4	4.3	18.4	47.8
2003	21.1	3.7	15.1	3.3	27.6	58.1
2004	22.6	4.6	18.9	3.5	20.7	48.7
2005	22.4	4.2	19.2	3.3	11.3	27.0

Table 2. Comparison of tolerance, VIF and R²

case	Independent variable	Tolerance (1-R _i ²)	VIF {1/(1-R _i ²)}	R ²
1	Air temperature	-	-	0.56
2	Air temperature, discharge	0.999, 0.999	1.001, 1.001	0.62
3	Air temperature, dew point	0.361, 0.361	2.770, 2.770	0.62
4	Air temperature, dew point, discharge	0.360, 0.357, 0.985	2.771, 2.801, 1.015	0.70

수온예측오차를 보다 감소시키기 위하여 6월에서 9월까지의 측정자료를 20 m³/s 미만과 이상으로 구분하여 다중회귀분석을 수행하였다. Table 3은 각 경우에 대한 수온예측오차를 비교한 결과를 보여준다. 수온예측모형간의 오차를 비교하기 위하여 측정값과 예측값의 절대평균오차(absolute mean error, AME)와 평균제곱근오차(root mean square error, RMSE)를 이용하였으며 다음과 같이 정의된다.

$$AME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n |t_{m,i} - t_{p,i}|$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (t_{m,i} - t_{p,i})^2}$$

여기서 N은 측정자료수, t_{m,i}과 t_{p,i}는 각각 측정수온과 예측수온이다. 절대평균오차와 평균제곱근오차는 0에 가까울수록 예측이 정확함을 나타낸다(Stow et al., 2003). 모든 경우에 있어서 전체구간에 대하여 회귀분석을 수행하는 것보다는 20 m³/s 미만과 이상의 구간으로 구분하는 것이 오차가 작게 나타났다. 다중회귀분석결과 case 4가 가장 작은 오차를 나타내었지만 독립변수에 유량이 포함되어 있기 때문에 유량의 변화가 유사한 경우에만 적용가능하기 때문에 결측치를 보완하거나 과거사상에 대하여 수온 추정에 적용하기 어려운 점이 있다. case 3의 경우, case 4에 비하여 오차가 다소 크지만 case 1과 case 2에 비해서는 오차가 가장 작고 기온과 이슬점만을 독립변수로 채택하였으므로 유량의 변화가 상이한 경우에도 이용할 수 있으므로 적용성이 높다고 판단된다. 즉 case 3은 임하호 유입하천 수온 측정이 없었던 2002년 태풍 루사와 2003년 태풍 매미 내습시 임하호내 탁도변화 수치모의시 적용할 수 있을 것으로 판단된다. case 3의 경우 반변천 광덕교지점과 용전천 덕천교지점의 수온예측 회귀식은 식 (1)-(4)와 같다.

$$WT_{BB} = 0.27 T_{air} + 0.39 T_{Dew} + 10.89$$

$$(반변천 광덕교, 유량 \leq 20 \text{ m}^3/\text{s}) \quad (1)$$

$$WT_{BB} = -0.18 T_{air} + 0.58 T_{Dew} + 12.15$$

$$(반변천 광덕교, 유량 > 20 \text{ m}^3/\text{s}) \quad (2)$$

$$WT_{YJ} = 0.20 T_{air} + 0.40 T_{Dew} + 12.08$$

$$(용전천 덕천교, 유량 \leq 20 \text{ m}^3/\text{s}) \quad (3)$$

$$WT_{YJ} = -0.23 T_{air} + 0.74 T_{Dew} + 10.71$$

$$(용전천 덕천교, 유량 > 20 \text{ m}^3/\text{s}) \quad (4)$$

여기서 WT_{BB}와 WT_{YJ}는 각각 반변천 광덕교와 용전천 덕천교 지점의 수온, T_{air}와 T_{Dew}는 각각 안동기상대 기온과 이슬점이며, 적용가능 기간은 6월에서 9월이다.

다중회귀식을 살펴보면 유량이 20 m³/s 미만인 경우에는 기온과 이슬점이 상승하면 수온도 상승하는 비례관계로 나타났다으나 유량이 20 m³/s 이상인 경우에는 기온이 상승하며 수온은 오히려 감소하는 반비례관계를 나타냈다. 20 m³/s 미만의 경우 평균적으로 예측수온이 0.22°C 높은 것으로 나타났으며, 20 m³/s 이상인 경우에는 예측수온이 0.05°C 낮은 것으로 나타났다. Fig. 2는 측정된 수온과 다중회귀분석을 통하여 예측된 수온을 비교한 결과를 보여준다. 예측수온의 변화양상이 실측수온과 거의 유사한 것으로 나타났으며 수온급감현상을 비교적 잘 예측하는 것으로 나타났다.

4. 임하호내 수온수치모의

4.1. CE-QUAL-W2 모형

수온예측 회귀식의 적용성을 평가하기 위하여 2차원 수리 및 수질 수치모형인 CE-QUAL-W2를 이용하여 임하호 수온분포 수치모의를 수행하였다. CE-QUAL-W2 모형의 지배방정식은 기본적으로 Navier-Stokes 방정식을 Reynolds 평균하여 횡방향으로 적분된 방정식으로서 수치모의 대상

Table 3. Comparison of prediction error of water temperature in Ban Byeon Stream

case	Independent variable	Overall		Q < 20 m ³ /s		Q ≥ 20 m ³ /s	
		AME (°C)	RMSE (°C)	AME (°C)	RMSE (°C)	AME (°C)	RMSE (°C)
1	Air temperature	2.0	2.6	1.8	2.2	1.5	1.9
2	Air temperature, discharge	2.1	2.6	1.6	2.0	1.4	1.8
3	Air temperature, dew point	2.0	2.6	1.5	1.9	1.4	1.7
4	Air temperature, dew point, discharge	1.8	2.3	1.2	1.6	1.3	1.6

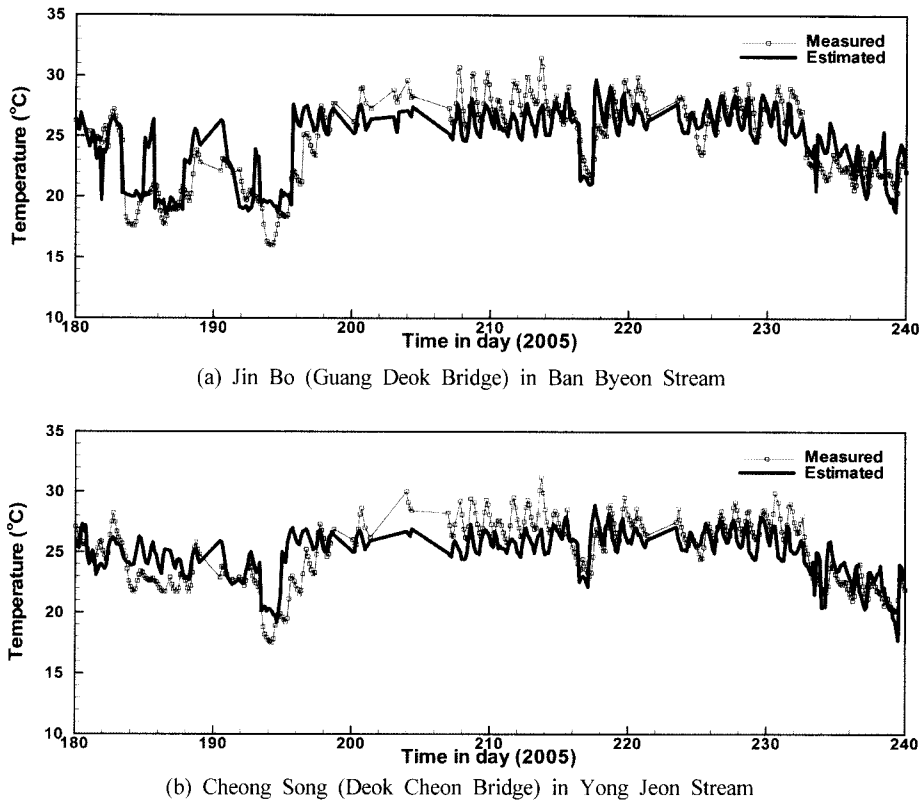


Fig. 2. Comparison of observed and predicted temperatures (case 3).

이 길고 좁은 수체에 적용하면 좋은 결과를 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다(Cole et al., 2003). 지배방정식은 식 (5)~(10)에서와 같이 횡방향으로 평균한 연속방정식, 운동량 방정식, 자유수면추적방정식 및 상태방정식, 이송확산방정식 등으로 구성된다.

$$\frac{\partial UB}{\partial x} + \frac{\partial WB}{\partial z} = qB \tag{5}$$

$$\frac{\partial UB}{\partial t} + \frac{\partial UUB}{\partial x} + \frac{\partial WUB}{\partial z} = gB \left(\frac{\partial \eta}{\partial x} \right) - \frac{gB}{\rho} \int_n^z \left(\frac{\partial \rho}{\partial x} \right) dz + \frac{1}{\rho} \frac{\partial B\tau_{xx}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial B\tau_{xz}}{\partial z} \tag{6}$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} = g \cos \alpha \tag{7}$$

$$B_\eta \frac{\partial \eta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \int_n^h UB dz - \int_n^h qB dz \tag{8}$$

$$\rho = f(T_w, \Phi_{TDS}, \Phi_{ISS}) \tag{9}$$

$$\frac{\partial B\Phi}{\partial t} + \frac{\partial UB\Phi}{\partial x} + \frac{\partial WB\Phi}{\partial z} - \frac{\partial \left(BD_x \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right)}{\partial x} - \frac{\partial \left(BD_z \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right)}{\partial z} = q_\phi B + S_\phi B \tag{10}$$

여기서, U 는 흐름방향 유속, B 는 수체의 폭, x 는 흐름방

향, z 는 연직방향, q 는 단위폭당 유입유량, t 는 시간, W 는 연직방향 유속, g 는 중력가속도, ρ 는 밀도, τ_{xx} 는 흐름방향 전단응력, τ_{xz} 는 연직방향 전단응력, P 는 정수압, T_w 는 수온, Φ_{TDS} 는 총용존부유물, Φ_{ISS} 는 무기부유물질, Φ 는 폭방향 적분된 물질의 농도, D_x 와 D_z 은 각각 길이방향과 연직방향 온도와 물질의 이송확산계수, S_ϕ 는 폭방향 적분된 생성/소멸 항이다. CE-QUAL-W2 모형은 저수지내의 오염물 이송(Chung et al., 1998), 수온변화현상(김 등, 2001; 나 등, 2002; 박 등, 2002), 인순환과정(김 등, 2004) 및 탁도 변화(박 등, 2003; 이 등, 2005; 정 등, 2005) 등에 적용된 바 있다.

CE-QUAL-W2를 이용하여 저수지내의 수온변화를 수치 모의하기 위해서는 유입 및 유출에 관한 유량자료, 기온자료, 이슬점자료, 풍향 및 풍속자료, 운량자료, 유입수의 온도자료가 필요하다(Cole et al., 2003). 반면천, 용전천 및 대곡천의 수체 전체를 모의구간으로 설정하였으며, 임하댐 저수지 퇴사량조사(한국수자원공사, 1997) 결과를 이용하여 CE-QUAL-W2 모형의 수치모의 격자를 구성하였다. 흐름방향격자의 간격은 평균 500 m이고, 연직방향격자의 간격은 수온약층을 모의할 수 있도록 1 m를 이용하였다. 연직방향 수온분포에 영향을 줄 수 있는 바람차폐계수(wind sheltering coefficient, WSC), 태양복사에너지 수표면 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 범위내에서 매개변수 교란(parameter perturbation)을 통한 민감도분석을 수행하여 수치계수를 결정하였으며 그 결과

Table 4. Numerical coefficient of CE-QUAL-W2

Longitudinal eddy viscosity (AX, m ² /s)	Longitudinal eddy diffusivity (DX, m ² /s)	Extinction coefficient (EXH2O)	Solar radiation absorbed coefficient (BETA)	Wind sheltering coefficient (WSC)	Chezy coefficient (CHEZY)
1	1	0.45	0.6	0.85	70

는 Table 4와 같다.

4.2. 임하호내 수온수치모의 결과

임하호 유입하천 예측수온을 이용한 임하호내의 수온분포 수치모의 가능성을 살펴보기 위하여 임하호 유입하천의 실측수온과 예측수온을 적용하여 얻어진 수치모의결과를 임하호 7개 지점에서 측정된 수온과 비교하였다. 수치모의기간은 2005년 6월 3일부터 9월 26일까지이며 이 기간동안 모두 13회에 걸쳐 임하호내에서 수심별 수온측정이 수행되었다. 임하호 유입 및 유출자료는 임하댐관리단에서 관측한 자료를 사용하였으며, 기상자료는 안동기상대의 자료를 사용하였다.

Fig. 3은 유입하천의 실측수온(○)과 예측수온(—)을 이용하여 얻어진 수치모의결과를 임하호내 7개 지점에서 수심별로 측정된 수온(●)과 비교한 결과를 보여준다. Fig. 3(a)의 경우 유입하천 실측수온과 예측수온을 이용하여 수치모의한 결과는 임하호내 수심별 측정수온과 일치하였다. Fig. 3(b) - (d)의 경우 유입하천 실측수온과 예측수온을 이용한 수치모의결과는 전반적으로 관측값보다 높게 나타났으며 유입하천 예측수온을 이용한 수치모의결과가 가장 높게 나타났다. 그러나 Fig. 3(c)의 경우 수심 15 m 부근에서는 수치모의결과가 낮게 나타났으며 이러한 현상은 Fig. 4의 수심별 수치모의결과비교를 살펴보면 2005년 7월 28일(210일)에서 8월 17일(230일)까지의 기간에 발생하였다. Fig. 3(c)의 댐측지점 수심 15 m 부근의 관측수온변화를 살펴보면 연직방향 수온변화가 5°C/m로 변화가 상당히 심하여 거의 불연속적인 수온분포를 나타내었다. 이러한 불연속적 변화는 수치모형에서는 구현되기 어렵기 때문에 부분적으로 관측수온보다 낮게 나타난 것으로 판단된다.

2005년 임하호내 수온분포 수치모의결과를 실측자료와 비교하여 절대평균오차(AME)와 절대평균상대오차(Mean Absolute Percent Error)를 계산한 결과는 Table 5와 같으며 평균절대상대오차는 다음과 같이 정의된다.

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

유입하천 예측수온을 입력한 임하호내 수온분포 수치모의 결과의 절대평균오차는 1.50°C로서 유입하천 수온예측의 절대평균오차와 거의 유사하였다. 이는 임하호 유입하천의 예측수온의 오차가 임하호내 수온변화 수치모의에 반영이 된 것으로 판단된다. 임하호 예측수온을 이용한 임하호내 수온수치모의 결과의 오차는 유입하천 실측수온자료를 이용한 결과에 비하여 0.57°C 높은 것으로 나타났다. 임하호 유입하천 예측수온을 이용하여 임하호내 수온수치

Table 5. Error comparison of observed and simulated water temperature of Imha Reservoir in 2005

Stream temperature	AME (°C)	MAPE (%)
Observed	0.93	6.96
Predicted	1.50	11.28

모의결과의 절대평균상대오차는 11% 정도이며 실측수온을 이용한 경우에 비하여 4.3% 정도 크게 나타났다. 따라서 다중회귀분석법을 이용한 임하호 유입하천 수온예측결과는 임하호내 수온분포 수치모의에 적용가능한 것으로 판단된다.

5. 결론

다중회귀분석을 이용하여 임하호 유입하천인 반변천과 용전천의 수온예측식이 개발되었다. 다중회귀분석시 독립변수선택을 위하여 2002년에서 2005년까지 6월에서 9월까지의 기온, 이슬점 및 유량의 변화를 비교한 결과, 기온과 이슬점의 평균값과 표준편차는 연도별로 유사하였지만 유량의 평균값과 표준편차는 연도별로 크게 변화하였다. 다중회귀분석시 유량을 독립변수중의 하나로 선택하는 방법은 수온예측의 정확성을 다소 높일 수는 있지만 적용성이 감소될 것으로 판단되었다. 유량의 변화가 상이한 기간에도 적용가능하도록 기온과 이슬점을 독립변수로 선택하고 유량이 20 m³/s 미만과 이상의 구간에 대하여 각각 다중회귀분석을 수행하는 것이 수온예측의 오차를 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다.

임하호 유입하천 예측수온을 이용한 임하호내의 수온분포 수치모의 가능성을 살펴보기 위하여 임하호 유입하천의 실측수온과 예측수온을 적용하여 2005년 6월 3일부터 9월 26일까지의 기간에 대하여 2차원 수치모의를 수행하였고 수치모의결과를 임하호 7개 지점에서 13회 측정된 연직방향 수온자료와 비교하였다. 그 결과 임하호 유입하천 예측수온을 이용하여 임하호내 수온수치모의결과의 절대평균상대오차는 11% 정도였으며 실측수온을 이용한 경우에 비하여 4.3% 크게 나타났다. 따라서 다중회귀분석법을 이용한 임하호 유입하천 수온예측결과는 임하호내 수온분포 수치모의에 적용가능한 것으로 판단된다.

사 사

자동탁도계 설치, 운영 및 관리에 수고가 많았던 한국수자원공사 임하댐관리단 직원 여러분께 감사의 말씀을 드립니다.

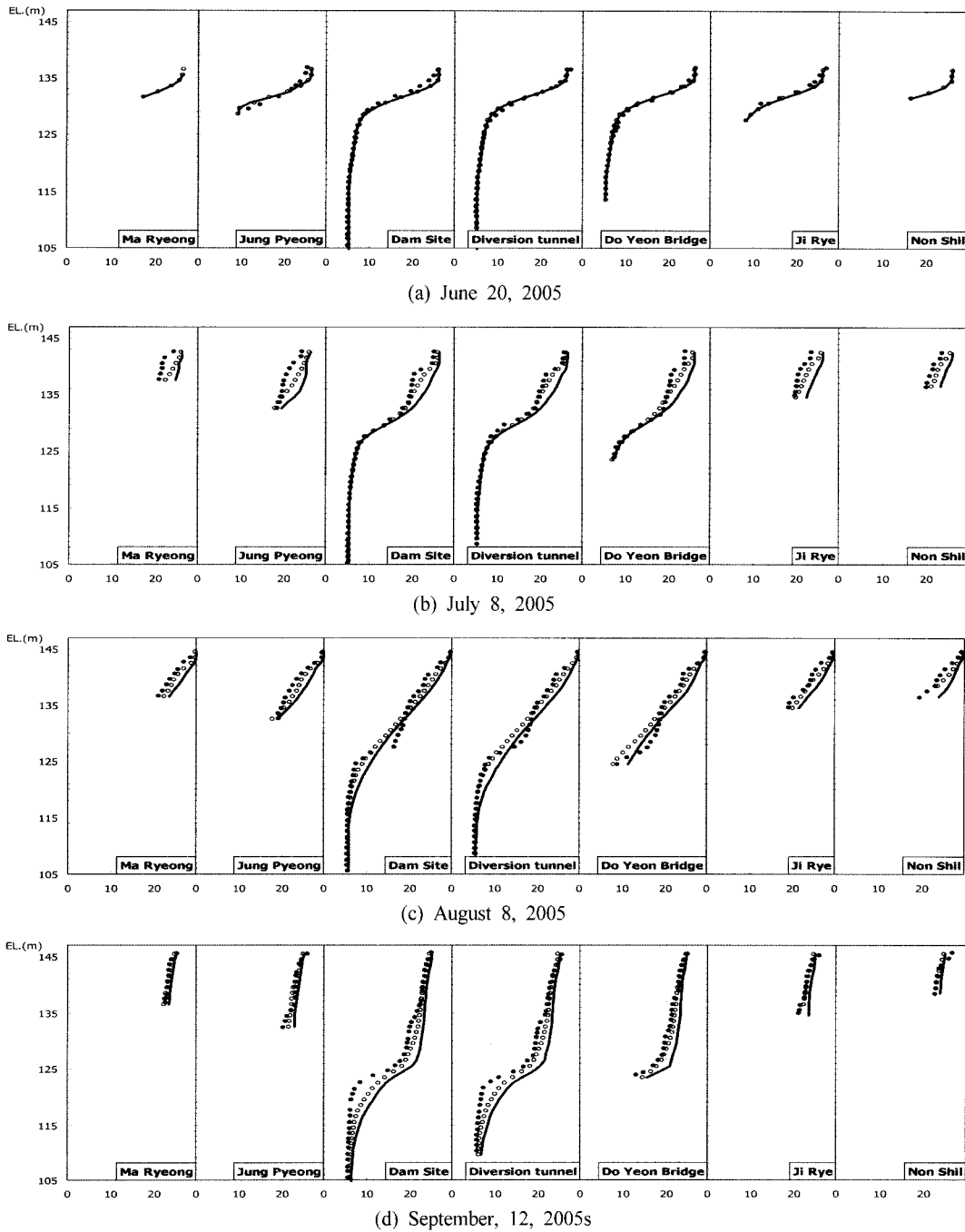


Fig. 3. Comparison of observed and simulated water temperature in Imha Reservoir (● : Observed water temperature; ○ : simulated with measured stream temperature ; — : simulated with predicted stream temperature)

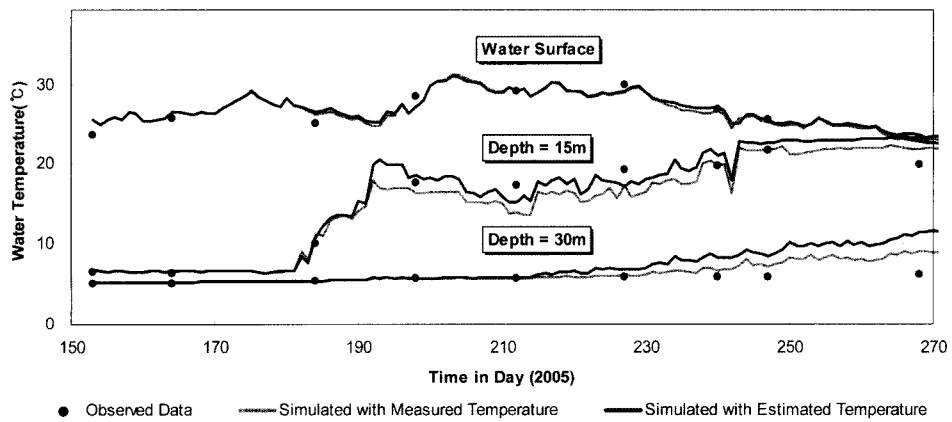


Fig. 4. Water temperature variation with respect to depth near intake tower.

참고문헌

- 김범철, 김윤희, 아시아 문순지역의 대형댐(소양호)에서의 인순환과 2차원모델의 적용, *대한유수학회지*, **37**(2), pp. 205-212 (2004).
- 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).
- 나은혜, 안규홍, 박석순, 팔당호의 계절별 전도현상과 연직 수온 분포에 관한 모델 연구, *대한환경공학회지*, **24**(5), pp. 901-910 (2002).
- 박기영, 한건연, 2차원 수치모형을 활용한 임하댐 탁도 분석 시스템 구축, *대한토목학회 2003년도 학술발표회 논문집(CD-ROM)* (2003).
- 박성현, *회귀분석*, 민영사, 서울, pp. 578-583 (1998)
- 박옥란, 박석순, 옥정호의 연직 수온분포에 관한 시변화 모델 연구, *대한유수학회지*, **35**(2), pp. 79-91 (2002).
- 이용곤, 김영도, 박기영, 김우구, 임하호 탁도변화분석을 위한 2차원 수치모델링, *대한토목학회 논문집*, **5**(4B), pp. 257-266 (2005).
- 정세웅, 오정국, 고익환, CE-QUAL-W2 모형을 이용한 저수지 탁수의 시공간분포모의, *한국수자원학회 논문집*, **38**(8), pp. 655-664 (2005).
- 한국수자원공사, *임하댐 저수지 퇴사량 조사 보고서* (1997).
- Carron, J. C. and Rajaram, H., Impact of Variable Reservoir Releases on Management of Downstream Temperatures, *Water Resour. Res.*, **37**(6), pp. 1733-1743 (2001).
- Chung, S.-W. and Gu, R., Two-dimensional Simulations of Contaminant Currents in Stratified Reservoir, *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, **124**(7), pp. 704-711 (1998).
- 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).
- Fischer, H. B., List, E. J., Koh, R. C. Y., Imberger, J. and Brooks, N. H., *Mixing in Inland and Coastal Waters*, Academic Press, New York, New York (1979).
- Hockey, J. B., Owens, I. F., and Tapper, N. J., Empirical and Theoretical Models to Isolate the Effect of Discharge on Summer Water Temperature in the Hurunui River, *J. Hydrol.* (New Zeland), **21**(1), pp. 1-12 (1982).
- Mohseni, O., Erickson T. R., and Stefan H. G., Upper Bounds for Stream Temperatures in the Contiguous United States, *Journal of Environmental Engineering*, **128**(1), pp. 4-11 (2002).
- Morrill, J. C., Bales, R. C., and Conklin, M. H., Estimating Stream Temperature from Air Temperature: Implications for Future Water Quality, *Journal of Environmental Engineering*, **131**(1), pp. 139-146 (2005).
- Nuemann, D. W., Rajagopalan. B., and Zagona, E. A., Regression Model for Daily Maximum Stream Temperature, *Journal of Environmental Engineering*, **129**(7), pp. 667-674 (2003).
- Stow, C. A., Roessler, C., Borsuk, M. E., Bowen, J. D., and Reckhow, K. H., Comparison of Estuarine Water Quality Models for Total Maximum Daily Load Development in Neuse River Estuary, *Journal of Water Resources Planning and Management*, **129**(4), pp. 307-314 (2003).
- Taylor, R. L., Simulation of Hourly Stream Temperature and Daily Dissolved Solids for the Truckee River, California and Nevada. Water-Resources investigations Rep. No. WRI 98-4064, U.S. Geologic Survey, Reston, Va. (1998).