

소양호 유입지천의 수온변화

Water Temperature Variation of a Stream Entering Soyang Reservoir

이용곤*, 강민구**, 이현석***, 김진영****

Yong-Kon Yi, Min Gu Kang, Hyun Seok Lee, Jin Young Kim

요지

소양호의 유입지천 중의 하나인 인북천의 원통수위관측소에 현장용 수온계를 설치하여 수온변화를 분석하고 수온 추정을 위하여 다중회귀분석을 수행하였다. 인북천 원통수위유량관측소지점의 유량이 작은 경우, 수온은 기온의 최고점부근에서 변화하고, 이슬점은 기온의 최저점부근에서 변화하는 것으로 나타났으며, 일일 주기로 변화하는 양상을 보이고, 일교차는 각각 약 5 °C, 15 °C 및 5 °C 정도로 나타났다. 최대수온과 최대기온은 차이가 거의 없지만 최저수온은 최저기온보다 약 10 °C 정도 높은 것으로 나타났다. 인북천 원통수위유량관측소 지점의 유량이 증가하는 경우에는 수온과 기온이 급감하는 것으로 나타났다. 수온추정시 유량이 작은 구간과 큰 경우구간에 대하여 각각 다중회귀분석을 수행하는 것이 추정오차를 낮추는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 하천수온, 소양호, 회귀분석

1. 서론

하천의 수온은 수질항목중 중요한 인자로서 담수 생태계의 활력을 좌우한다(Morrill et al., 2005). 또한 저수지로 유입되는 하천의 경우 수온은 성층화된 저수지내의 거동과 직접적인 관계가 있다. 여름철 저수지의 수온분포는 높은 기온과 바람의 영향으로 성층화가 최고에 달하여 표수층(epilimnion), 수온약층(thermocline) 및 심수층(hypolimnion)으로 구분할 수 있다(Fischer et al., 1979). 성층현상이 심하면 유체는 연직방향운동이 제한되고 상대적으로 수평방향운동이 활발하게 된다. 이렇게 성층화된 저수지에서의 물의 거동은 유입지천의 수온에 영향을 받는다. 유입지천의 수온이 저수지 표층의 수온보다 높거나 비슷하면 표층으로 유입되며 표층의 수온보다 낮으면 표층 밑으로 유입된다. 저수지 유입지천의 수온은 저수지 수질관리를 위한 수치모의시 기본적인 입력자료이며 저수지내의 물의 거동에 직접적인 영향을 준다. 하천의 수온은 기온에 영향을 받는 것으로 알려져있으며, 강우시에는 급격히 감소하며 18°C에서 22°C의 범위에 분포하는 것으로 알려졌다(김윤희 등, 2001; 정세웅 2004; 이상욱 등, 2003).

하천수온의 예측을 위하여 경험적 또는 회귀식 모형과 물리적 기반 모형이 개발되었다. 물리적 기반모형은 아주 정확한 결과를 나타낼 수 있지만 다양한 입력자료가 요구되며 계산시간이 많이 소요되며 수질모형에 적용하기 어려운 점이 있다. 경험식 또는 회귀모형은 계산시간이 상대적으로 적게 소요되며 수질모형에 적용하기 쉽다(Neumann et al., 2003, Mohseni et al., 2002).

* 정회원·한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원·E-mail : yongkon@kwater.or.kr
** 정회원·한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원·E-mail : kmg90@kwater.or.kr
*** 비회원·한국수자원공사 수자원연구원 공학박사·E-mail : leehs2005@kwater.or.kr
**** 비회원·한국수자원공사 소양강댐관리단 과장·E-mail : kjyoung@kwater.or.kr

소양호는 강원도 춘천시 동면 월곡리와 신북읍 천전리 사이에 북한강의 지류인 소양강 하류를 막아 세운 다목적 댐이다. 소양강댐 좌안은 강원도 춘천시 동면 월곡리와 우안은 강원도 춘천시 신북읍 천전리에 위치한다. 소양호의 총저류량은 29억 m^3 이고 유효저류량은 19억 m^3 이다. 계획홍수위는 EL. 198.0 m이고 상시만수위는 193.5 m이다. 주요 유입지천은 내린천, 인북천 북천이다. 본 연구의 목적은 인북천의 원통수위관측소에 현장용 수온계를 설치하여 소양호 유입지천중의 하나인 인북천의 수온변화를 분석하고 수온 추정을 위하여 회귀분석을 수행하는 것이다.

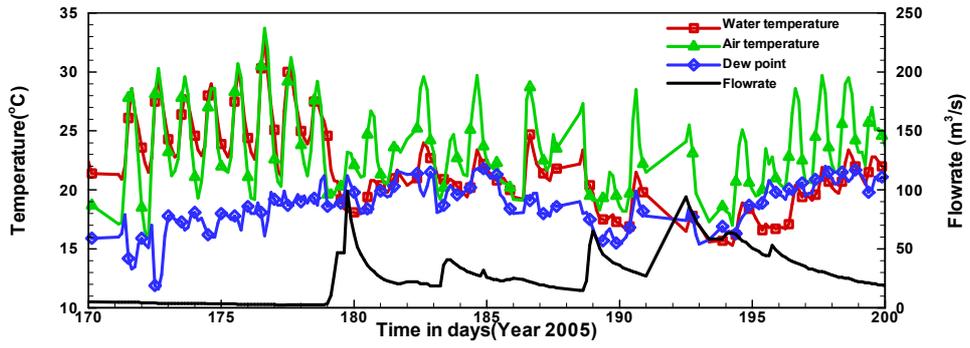
2. 소양호 유입지천의 수온, 기온, 이슬점 및 유량변화

소양호 유입지천인 인북천에 위치한 원통수위유량관측소에 설치된 현장용수온계를 이용하여 측정한 수온과 유량, 인제기후관측소의 기온과 이슬점변화는 그림 1과 같다. 인북천 원통수위유량관측소지점의 유량이 작은 경우(예를 들어 $15 m^3/s$ 이하)인 경우, 수온은 기온의 최고점부근에서 변화하고, 이슬점은 기온의 최저점부근에서 변화하는 것으로 보이며 일일 주기로 변화하는 양상을 보이고, 일교차는 각각 약 $5\text{ }^\circ\text{C}$, $15\text{ }^\circ\text{C}$ 및 $5\text{ }^\circ\text{C}$ 정도로 나타났다. 수온의 일교차가 기온보다 작은 것은 물의 비열이 대기의 4배이기 때문으로 판단된다. 최대수온과 최대기온은 차이가 거의 없지만 최저수온은 최저기온보다 약 $10\text{ }^\circ\text{C}$ 정도 높은 것으로 나타났다. 인북천 원통수위유량관측소 지점의 유량이 증가하는 경우에는 수온과 기온이 급감하는 것으로 나타났다. 유량이 증가하여 최대유량에 도달이후 유량이 감소하는 경우에는 기온이 상승하면 수온도 상승하나 기온이 하강해도 감소하지 않고 일정하게 유지되는 것으로 나타났다. 유량이 작은 경우에는 수온, 기온 및 이슬점의 변화양상은 단순하지만 유량이 많은 경우에는 변화 양상이 상대적으로 복잡한 것으로 나타났다.

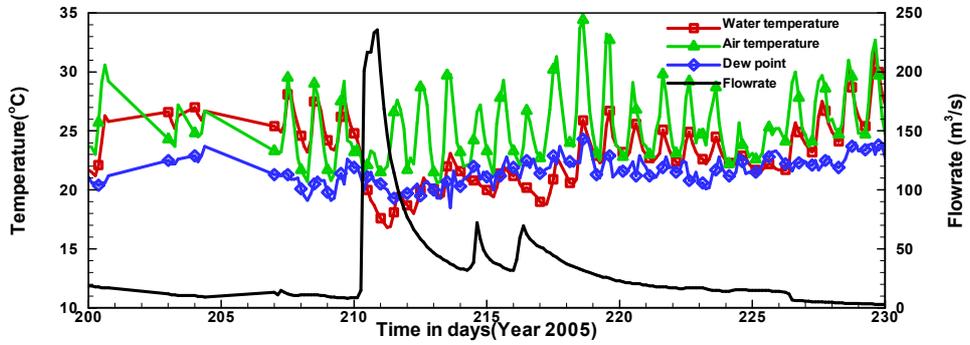
2005년 6월부터 9월까지의 기간동안에 대하여 인북천 원통수위관측소 지점의 수온과 유량, 인제기후관측소의 기온과 이슬점이 평균과 표준편차를 살펴보았다. 표 1은 2005년 수온, 기온, 이슬점 및 유량의 평균과 표준편차를 보여준다. 유량이 $15 m^3/s$ 이하인 경우에는 기온과 이슬점은 전체기간에 대한 평균과 표준편차와 거의 유사하지만 수온은 평균값이 $2\text{ }^\circ\text{C}$ 이상 높게 나타났으며, 유량은 평균과 표준편차값이 작게 나타났다. 유량이 $15 m^3/s$ 이상인 경우에는 수온은 평균적으로 전체기간에 비하여 평균과 표준편차가 $1\text{ }^\circ\text{C}$ 정도 작게 나타났고, 기온과 이슬점은 전체기간에 비하여 상대적으로 유사하며, 유량은 상대적으로 평균값이 크게 나타났다.

3. 다중회귀분석을 이용한 수온예측

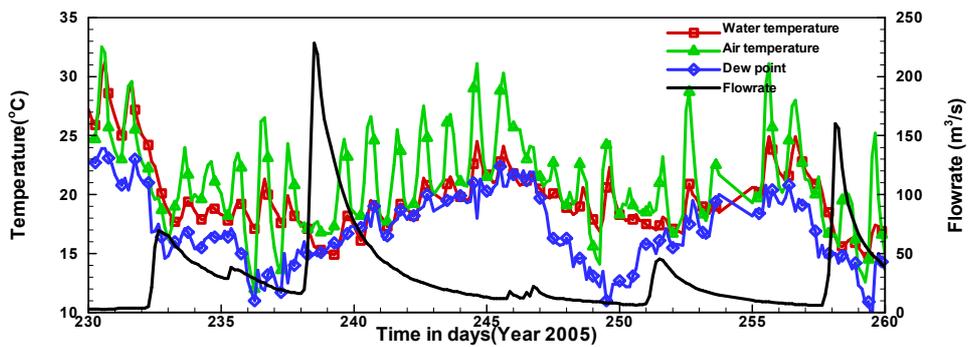
수온예측을 위하여 다중회귀분석을 수행하였다. 독립변수로 기온, 이슬점 및 유량을 선정하였으며 각 경우에 대하여 단계선택방법에 의하여 독립변수가 선택되었으나 비교를 위하여 단계선택되지 않은 독립변수를 이용한 회귀분석도 수행되었다. 수온예측모형간의 오차를 비교하기 위하여 측정값과 예측값의 절대평균오차(absolute mean error, AME)와 평균제곱오차(root mean square error, RMSE)를 이용하였다.



(a) 2005년 6월 18일 - 7월 18일



(b) 2005년 7월 19일 - 8월 17일



(c) 2005년 8월 18일 - 9월 16일

그림 1. 인북천 수온, 기온, 이슬점 및 유량변화

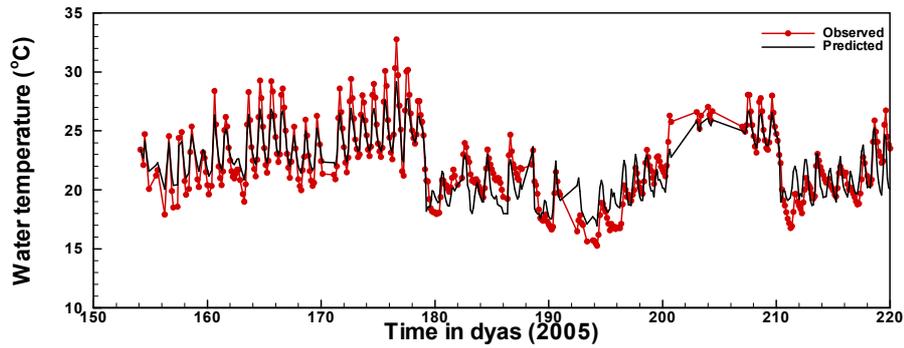
표 1. 2005년 수온, 기온, 이슬점 및 유량의 평균과 표준편차

	6월 - 9월		6월 - 9월 (15 m ³ /s이하)		6월 - 9월 (15 m ³ /s이상)	
	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차
수온(°C)	20.9	3.6	23.3	3.4	19.2	2.5
기온(°C)	22.2	4.3	22.8	4.5	21.7	4.1
이슬점(°C)	17.9	3.4	17.6	3.7	18.0	3.1
유량(m ³ /s)	27.6	31.6	7.3	3.7	42.6	34.6

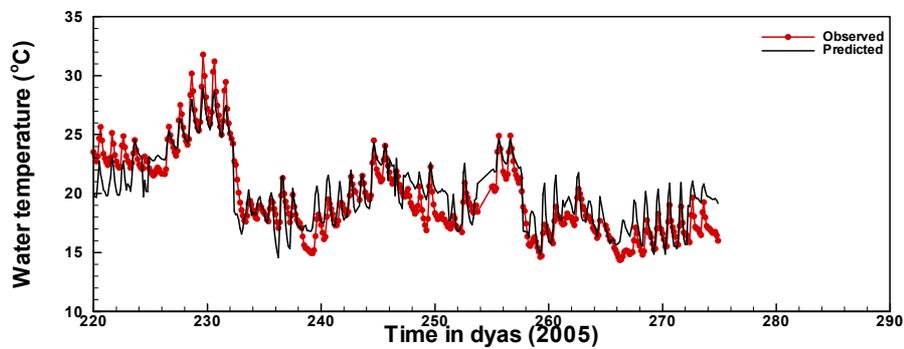
표 2는 수온예측모형의 오차를 비교한 것이다. 모든 모형의 경우 전체기간에 대하여 회귀분석을 수행하는 것보다는 15 m³/s이하와 이상의 구간으로 구분하는 것이 오차가 작게 나타났다. 전체기간(2005년 6월 - 9월)에 대한 다중회귀분석결과 모형 4가 가장 작은 오차를 보였다. 15 m³/s이하의 기간의 경우에는 모형 3이 가장 작은 오차를 나타내었으며 15 m³/s이상의 경우에는 모형 4가 가장 작은 오차를 보였다. 오차를 비교해보면 유량이 15 m³/s이하의 경우는 모형 3, 유량이 15 m³/s이상의 경우는 모형 4가 가장 적절한 것으로 판단된다. 그러나 유량은 년도별로 평균값과 표준편차가 크게 차이가 나기 때문에 적용하기 어려운 점이 있다. 따라서 유량은 두 가지 경우로 나누는 기준으로만 이용을 하고 수온추정에는 적용하지 않는 모형 3이 가장 적절한 것으로 판단된다. 그림 2는 모형 3에 의하여 추정된 수온과 실측 수온변화를 보여준다. 전체적으로 추정수온의 일교차가 실측수온보다 더 큰 경향을 나타내는 것으로 보인다. 강우시에 수온이 급감하는 현상을 잘 예측하는 것으로 나타났으나 실측수온보다는 낮게 나타났다.

표 2. 수온예측모형의 오차 비교

모형	독립변수	전체		15 m ³ /s 이하		15 m ³ /s 이상	
		AME (°C)	RMSE (°C)	AME (°C)	RMSE (°C)	AME (°C)	RMSE (°C)
1	기온	2.1	2.5	1.67	2.0	1.3	1.6
2	기온, 유량	1.7	2.1	1.2	1.5	1.4	1.7
3	기온, 이슬점	2.1	2.5	1.1	1.3	1.2	1.4
4	기온, 이슬점, 유량	1.2	1.6	1.2	1.5	1.0	1.3



(a) 2005년 6월 1일 - 8월 7일



(b) 2005년 8월 8일 - 9월 30일

그림 2. 수온측정값과 추정값 비교

참 고 문 헌

1. 김윤희, 김범철, 최광순, 서동일(2001) 2차원 수리 수질모델(CE-QUAL-W2)을 이용한 소양호 수온 성층현상과 홍수기 밀도류 이동 현상의 모델링. 상하수도학회지. 제 15 권, 제 1호, pp. 40-49.
2. 이상욱, 서동일, 정세웅(2003) 2차원 수리-수질모델(CE-QUAL-W2)을 이용한 대청호 수온 성층현상의 모델링. 2003 춘계학술연구발표회 논문집, 대한환경공학회, pp. 676-678.
3. 정세웅 (2004) 성층화된 저수지로 유입하는 탁류의 공간분포 특성 및 연직 2차원 모델링, 대한 환경공학회, 제26권, 제19호, pp. 970-978.
4. Fischer, H.B., List, E.J., Koh, R.C.Y., Imberger, J. and Brooks, N.H. (1979) *Mixing in Inland and Coastal Waters*. Academic Press, New York, New York.
5. Mohseni O., Erickson T.R., Stefan H.G. (2002) Upper Bounds for Stream Temperatures in the Contiguous United States. *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 128, No. 1, pp. 4-11.
6. Morrill J.C., Bales R.C., Conklin M.H. (2005) Estimating Stream Temperature from Air Temperature: Implication for Future Water Quality. *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 131, No. 1, pp. 139-146.
7. Neumann D.W., Rajagopalan B., Zagona E.A. (2003) Regression Model for Daily Maximum Stream Temperature, *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 129, No. 7, pp. 667-674.