

임하호 유입지천의 수온과 탁도 변화

김 우 구 · 정 관 수¹ · 이 용 곤*

(한국수자원공사 수자원연구원, ¹충남대학교 토목공학과)

The Variation of Water Temperature and Turbidity of Stream Flows entering Imha Reservoir. Kim, Woo-gu, Kwan Soo Jung¹ and Yong-Kon Yi* (Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation, Daejeon 305-730; ¹Department of Civil Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764)

The changing patterns of water temperature and turbidity in streams entering Imha Reservoir were studied. The turbidity variation near the intake tower in Imha Reservoir was investigated in relation with the variation of water temperature and turbidity in streams. Water temperature was estimated using multi-regression method with air temperature and dew point as independent variables. Peak turbidity was also estimated using non-linear regression method with rainfall intensity as an independent variable. Although more independent variables representing watershed characteristics seem to be needed to increase estimation accuracies, the methodology used in this study can be applied to estimate water temperature and peak turbidity in other streams.

Key words : water temperature, turbidity, stratification

서 론

2002년 8월 31일 태풍 '루사'와 2003년 9월 14일 태풍 '매미'의 내습으로 발생한 탁도가 높은 흙탕물이 임하호로 유입되어 이듬해 봄까지 장기간에 걸쳐 탁도가 높게 유지된 바 있다. 탁도가 높아지면 심미적 즐거움이 저감되고 (환경부, 2002), 저수지 방류수의 고탁도 현상이 장기화되면 수자원으로서의 효용가치가 하락한다 (한국수자원공사, 2004).

저수지에서 물의 밀도는 온도, 염도 및 부유사농도 등의 변화로 인하여 시간 및 공간적으로 일정하지 않다. 성층화된 저수지의 수체는 일반적으로 밀도와 두께가 다른 층으로의 연직방향혼합이 제한된다 (Batuca and Jordan,

2000). 저수지의 수온변화는 수체의 거동 뿐만 아니라 녹조발생 등과 밀접하게 연관되며, 유입·유출수의 온도차와 표면의 열교환에 의하여 영향을 받기 때문에 (Fischer *et al.*, 1979) 유입지천의 수온변화와 연관이 있다.

강우시 유입수온은 강우사상 이전의 수온에 비하여 급격히 떨어지는 경향을 나타내는 것으로 보고되었다 (김윤희 등, 2001). 홍수기 저수지로 유입하는 하천수 온도는 18~22°C의 범위를 갖는 것으로 알려져있다 (정세웅, 2004). 비강우시 하천의 수온은 기온과 유사하게 변화하며 강우시에는 이슬점과 유사한 것을 이용하여 저수지 유입지천의 수온을 추정할 연구사례가 있다 (이용곤 등, 2005). 홍수기 유입이 많은 경우 유입수온을 고려하지 않는다면 저수지의 수온예측이 어려운 것으로 알려져 있다 (이상욱 등, 2003).

* Corresponding author: Tel: 042) 860-0358, Fax: 042) 860-0319, E-mail: yongkon@kowaco.or.kr

부유사농도변화는 유량변화와 상당히 유사한 것으로 알려져 있다(Vanoni, 1975). 수온과 부유사농도 변화특성은 유역특성에 많은 영향을 받기 때문에 유역별로 많은 차이를 보일 수 있으며 집중호우시 측정하기 어렵기 때문에 저수지의 유입하천수의 특성에 대하여 시간대별로 측정하고 분석한 연구사례가 거의 없다. 따라서 유입지천수 변화특성을 추정하기 어렵고 또한 저수지의 수체거동 및 탁도변화에측을 하는데 어려움이 있다.

본 연구의 목적은 임하호 유입지천과 취수탑부근에 설치된 수온 및 탁도 자동측정장치를 이용하여 모니터링한 수온과 탁도자료를 분석하여 변화특성을 파악하고, 저수지 유입지천수의 특성변화가 저수지 수온과 탁도분포에 미치는 영향을 분석하고, 저수지의 탁수관리를 위한 수치모의시 필수적인 유입지천의 수온 및 탁도를 추정하는 것이다.

연구대상지 개요

1. 임하호 유역

임하댐은 경상북도 안동시 임하면 임하리(좌안)와 임동면 망천리(우안)에 위치하며, 길이 515 m, 높이 73 m의 rock fill 댐으로서, 총저류량은 5억 9천 5백만 m^3 이다. 댐의 정상표고는 El. 168 m이고, 저수위 El. 137 m와 계획홍수위 El. 164.7 m 사이에서 운영되고 있다. 임하호 유역면적은 1,361 km^2 이고, 주요하천은 반변천, 용전천, 대곡천 등이 있다(Fig. 1). 반변천은 전반적으로 굴곡이 심한 사행하천으로 평균하상경사는 1/500이며, 반변천과 용전천 합류점을 기준으로 반변천 유역면적은 857 km^2 로서 전체유역면적의 63%를 차지한다. 용전천은 후평리 지점에서 반변천과 합류하는데 유역면적은 402.6 km^2 이고 전체유역면적의 30%를 차지하며, 유로연장은 54.3 km이다. 대곡천은 유역면적 97.5 km^2 이고 유로연장은 19.0 km으로서 임하댐의 직상류 망천리에서 반변천과 합류하며 총유역면적의 7% 정도를 차지한다.

국가수자원관리 종합정보(WAMIS)에 의하면 임하호 유역의 최근 10년(1995년에서 2004년)의 연평균강우량은 1,085 mm이다. 최저 강우량은 1995년 708 mm이고 최대 강우량은 2003년 1,559 mm이다(Fig. 2). 연강우량의 70%가 6월에서 9월까지 발생하는 것으로 나타났다(Fig. 3). 이 기간에는 탁도가 높은 흙탕물이 주로 발생하며 임하호는 온대지역의 수심이 깊은 호수나 저수지에서와 같이 수온에 의한 밀도성층현상을 나타내기 때문에

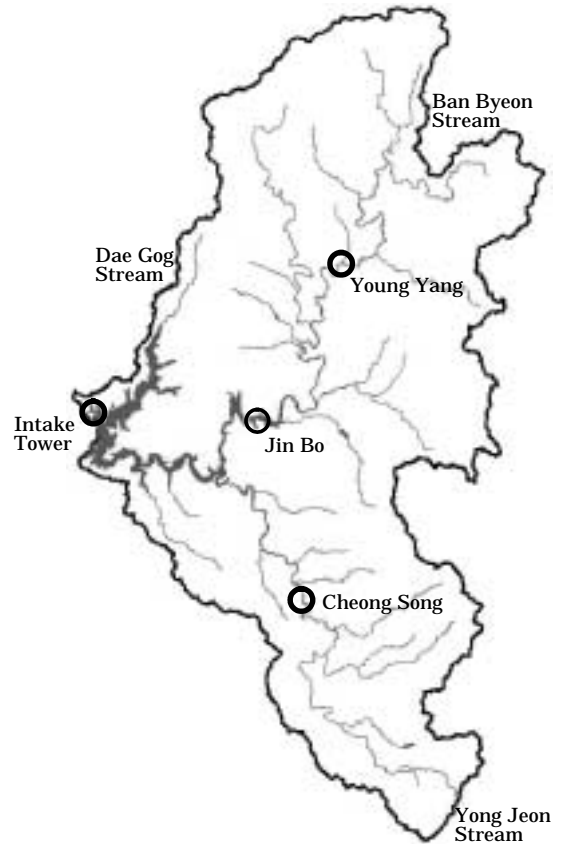


Fig. 1. Watershed of Imha reservoir and main tributaries.

임하호의 탁도변화를 해석하기 위해서는 유입지천의 수온과 탁도변화 특성을 분석하여야 할 것으로 판단된다.

2. 자동 탁도계 제원 및 설치위치

임하호와 유입지천의 수온과 탁도모니터링을 위하여 임하호내 취수탑부근, 반변천의 광덕교 및 용전천의 덕천교에 자동탁도계가 2004년 가을에 설치되어 운영중이다. 자동탁도계가 설치된 광덕교와 덕천교는 각각 진보와 청송(Fig. 1) 인근이다. 임하호 유역에 설치된 자동탁도계는 미국 In-situ사의 Troll 9000이고 수온과 탁도를 1시간 간격으로 측정한다. 수온측정범위는 $-5 \sim 50^{\circ}C$, 정밀도는 $\pm 0.1^{\circ}C$, 탁도측정범위는 $0 \sim 2,000$ NTU, 정밀도는 $\pm 5\%$, 측정가능수심은 $0 \sim 100$ m이다. 취수탑의 자동탁도계는 연직방향으로 1 m 간격으로 측정가능하다. 측정된 수온 및 탁도자료는 실시간으로 임하댐관리단으로 전송되며 인터넷으로 검색가능하다. 대곡천은 유역면적이 작고 유량이 상대적으로 작기 때문에 자동탁도측정장비가 설치되어 있지 않다.

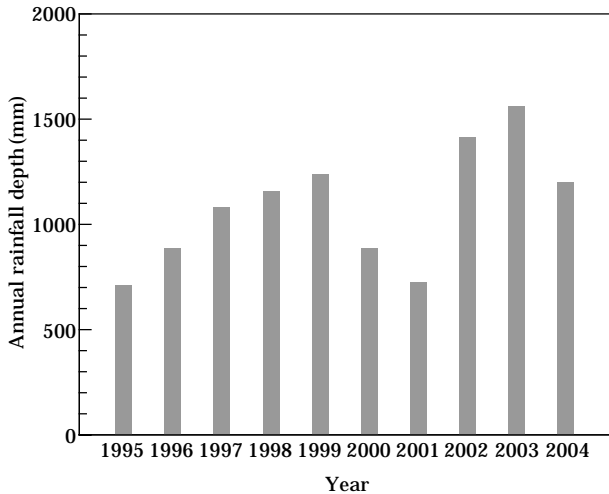


Fig. 2. Annual rainfall depth.

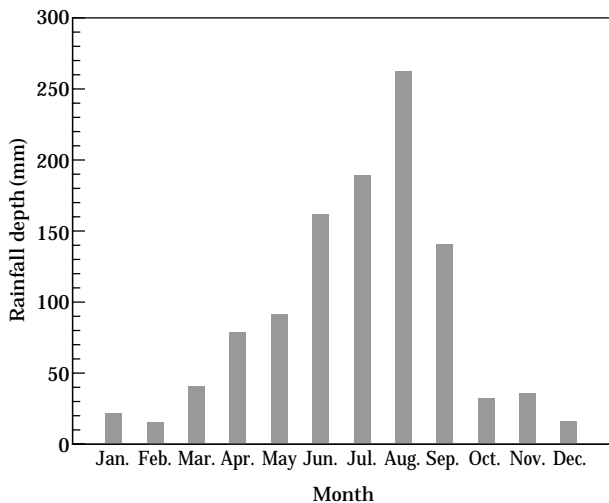


Fig. 3. Monthly-averaged rainfall depth.

결과 및 고찰

1. 임하호 유입하천수 온도변화

탁수가 주로 발생하는 여름철 홍수기의 저수지는 수온 성층화되어 있다. 성층화된 저수지에서 유체의 거동은 저수지 유입하천수의 온도에 영향을 받는다. 유입하천수의 온도가 높으면 저수지의 표층부근으로 유입되며, 낮으면 저수지 하상을 타고 유입된다. 따라서 저수지내 흐름특성을 해석하기 위해서는 우선적으로 유입하천수의 온도변화특성을 파악해야한다. 그러나 이제까지 저수지 유입하

천수의 온도변화특성에 대하여 시간대별 측정사례는 거의 없었다. Fig. 4는 임하호 유입지천인 반변천에 위치한 진보부근의 광덕교 지점에 설치된 자동탁도계로부터 얻은 수온, 영양 수위·우량 관측소에서 측정된 유량과, 안동기후관측소에서 관측된 기온과 이슬점변화를 보여준다. Fig. 4 (a)는 강우사상이 1회로 임하호 유입지천인 반변천의 유량이 작고 변화가 거의 없었던 기간이고, Fig. 4 (b)는 강우사상이 7회로 유량이 많았고 변화도 많았던 기간이다. Fig. 4 (a)의 수온, 기온, 이슬점은 주기적으로 변화하는 경향이 있지만 강우가 빈번했던 Fig. 4 (b)의 경우 온도변화 양상이 복잡하다.

강우유출이 작았던 기간 (Fig. 4 (a))에는 수온, 기온 및 이슬점의 일교차는 각각 5, 15°C 및 5°C 정도로 나타났다. 수온의 일교차가 기온의 1/3 정도인 것은 물의 비열이 공기의 4배이기 때문에 온도가 증가하고 감소하는데 시간이 많이 걸리기 때문으로 판단된다. 수온은 기온의 최고점부근에서 변화하고, 이슬점은 기온의 최저점부근에서 변화하는 것으로 보인다. 최대수온과 최대기온은 차이가 거의 없지만 최저수온은 최저기온보다 약 10°C 정도 높은 것으로 나타났다. 최대수온은 평균적으로 오후 5시에 발생하고 최대기온은 오후 3시에 발생하는 것으로 나타나 최대온도가 발생하는 시점의 차이가 있는 것으로 나타났다. 강우유출이 작은 경우 수온변화양상은 상대적으로 규칙적이므로 이상욱 등 (2003)이 주장한 것과 같이 기온에 비례한 것으로 나타낼 수도 있을 것으로 보이지만 최대온도가 발생하는 시차를 고려하여야 할 것으로 판단된다.

강우유출이 많았던 기간 (Fig. 4 (b))의 수온변화특성은 다음과 같다. 강우유출로 인하여 유량이 급격히 증가하는 7월 1일, 7월 4일, 7월 10일 및 7월 11일에는 수온이 약 4~5°C 정도 감소하여 기온보다 낮아졌다. 그러나 Fig. 4 (a)의 6월 10일에는 유량이 증가하기는 하였지만 $10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 이하인 경우 수온이 감소하기는 하였지만 기온보다 높았다. 수온변화에 유량의 크기가 영향을 미치는 것으로 판단된다. 수온급감현상 이후 수온은 일정하게 유지되었고, 기온이 상승하면 수온도 상승하나 기온이 하강해도 감소하지 않고 일정하게 유지되었던 것을 알 수 있다. 강우가 거의 없는 기간의 경우 수온, 기온 및 이슬점의 변화양상은 단순하지만 강우가 잦았던 기간에는 변화 양상이 복잡하며 강우량의 지역적 차이로 인한 강우유출의 영향을 받는 것으로 나타났다.

2. 임하호 유입지천의 탁도변화

강우유출로 인하여 유량변화가 많았던 기간에 대하여

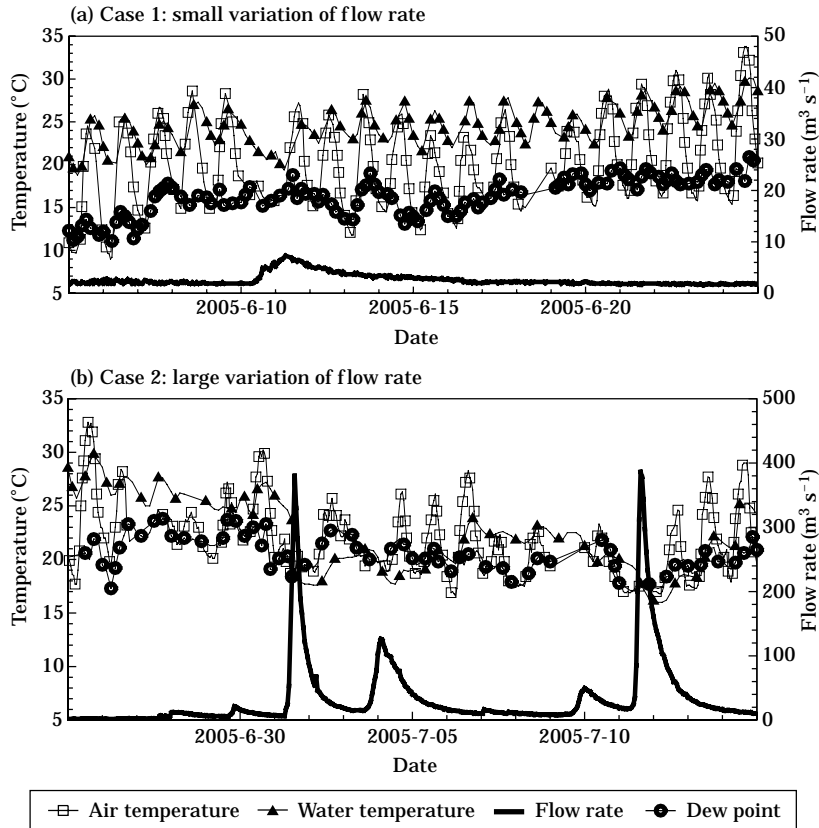


Fig. 4. Variation of water temperature, air temperature and flow rate in Ban Byeon stream.

반변천과 용전천의 유량과 탁도의 변화를 분석하기 위하여 임하댐 관리단에서 반변천 광덕교와 용전천 덕천교에 설치한 자동탁도계의 자료를 이용하였다 (Fig. 5). 2005년 7월 11일 반변천의 최대유량은 용전천보다 2배임을 알 수 있다. 이는 반변천의 유역면적이 용전천보다 약 2배정도 크므로 강우유출량이 많기 때문이다. 7월 1일 반변천과 용전천의 유량을 비교하면 반변천은 $380 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 이지만 용전천은 $30 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 으로 많은 차이를 보였다. 이는 반변천과 용전천의 강우량의 차이 때문으로 판단된다. 부유사농도변화는 유량변화와 유사한 것으로 알려져 있는 것처럼 (Vanoni, 1975) 임하호 유입지천의 탁도는 유량이 증가함에 따라 증가하고 감소함에 따라 감소하지만 최대탁도는 최대유량과 선형비례하지는 않는 것으로 판단된다.

부유사농도를 채수하여 측정하는 방법은 시간이 많이 소요되기 때문에 일정시간간격으로 예를 들어 1시간 간격으로 장기간에 걸친 모니터링에는 적용하기 어렵다. 부유사농도를 간접적으로 측정하는 방법은 탁도-부유사농도 상관관계를 이용하는 것이다. 따라서 임하호 유입지천인 반변천과 용전천의 탁도변화는 부유사농도변화와 유

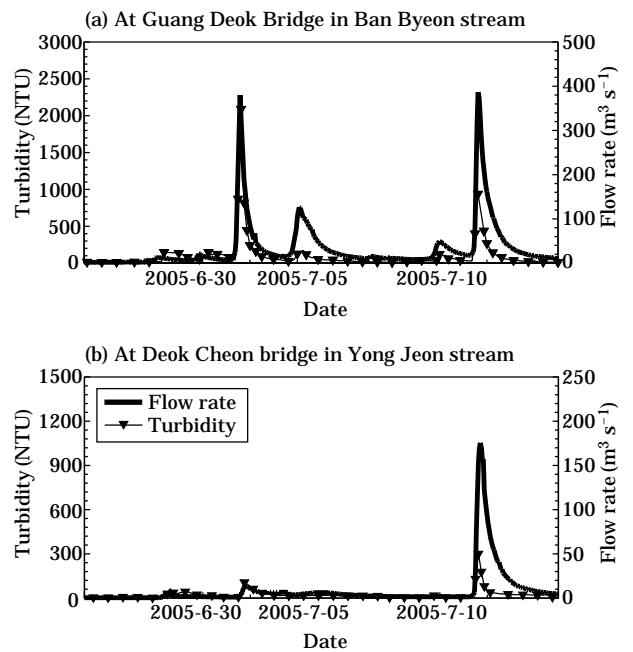


Fig. 5. Variation of turbidity and flow rate in Ban Byeon and Yong Jeon streams.

사한 것으로 볼 수 있다.

3. 임하호 유입지천의 수온과 탁도변화에 따른 임하호 취수탑 부근 탁도변화

임하호 취수탑 부근의 탁도변화와 유입지천의 수온과 탁도변화와의 관계를 살펴보았다. 임하호 취수탑은 임하댐 우안에 위치하므로 임하호로 유입된 탁수가 최종적으로 도달하는 지점으로 볼 수 있다. 임하호 취수탑부근에 설치된 자동탁도계의 자료를 이용하여 임하호 취수탑부근의 저수지 표면, 표고 El. 128 m와 El. 135 m, 최대 및 평균탁도변화를 살펴보았다 (Fig. 6). 반변천 광덕교의 탁도는 2005년 7월 1일 오전 9시부터 증가하여 6시간만에 최대탁도에 도달했지만 임하댐 취수탑부근의 탁도는 2005년 7월 2일 오전 6시부터 증가하여 39시간만에 최대탁도에 도달하였다. 최대탁도 도달시간의 차이는 임하호내 탁수의 이동속도가 반변천의 유속보다 느리기 때문으로 볼 수 있다. 저수지 표면의 탁도와 표고 El. 128 m의 탁도도 증가하지만 최대탁도에 비하여 상당히 낮다.

이러한 것을 볼 때 탁수는 주로 표층과 El. 128 m 사이로 유입이 된 것을 확인할 수 있다. 표층의 탁도는 다소 증가하다가 강우가 종료한 이후에는 강우전과 비슷한 수준으로 낮아졌다. 심층 (El. 128 m)의 탁도도 다소 증가하지만 표층의 경우와는 다르게 거의 변화가 없거나 서서히 증가하였다. 표층의 탁도변화가 단기간에 발생하므로 탁도유발물질의 침강에 의한 것으로 보기는 어렵다. 이러한 표층과 심층의 탁도변화양상이 다른 원인은 임하호 유입지천의 수온과 탁도변화를 보면 명확해진다.

Fig. 7은 임하호 취수탑부근의 저수지 표면, 표고 El. 128 m와 El. 135 m, 유입수 및 저수지 평균수온변화를 보여준다. 강우가 시작된 2005년 7월 1일 표고 El. 135 m의 수온은 21°C에서 18°C로 감소하였는데 유입수의 온도와 거의 동일하므로 강우유출수가 유입된 것을 알 수 있다. 강우가 종료한 이후 7월 7일부터 7월 10일까지 유입수의 탁도는 100 NTU 미만으로 표층의 탁도 (300 NTU)보다 낮고, 수온은 임하호 수표면의 온도와 거의 동일하거나 약 2°C 정도 낮으나 표고 El. 135 m의 수온보다는 높으므로 수표면 부근으로 유입되어 표층의 탁도를

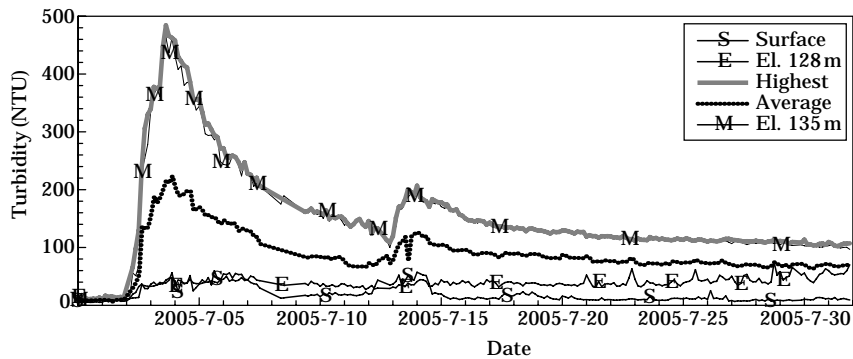


Fig. 6. Temporal variation of turbidity near intake tower.

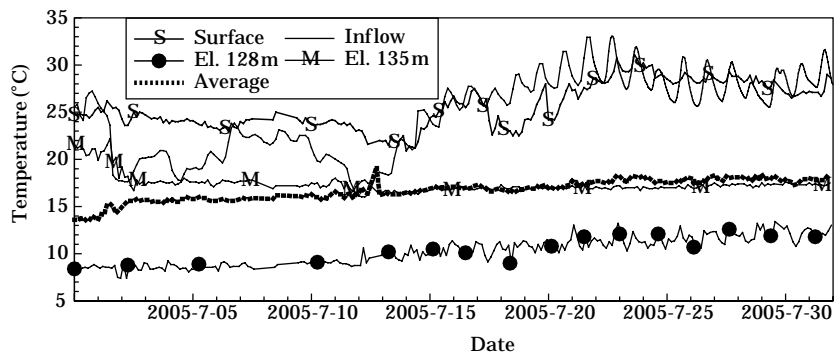


Fig. 7. Temporal variation of water temperature near intake tower.

낮추는 것으로 판단된다. 강우종료 이후에는 심층으로 탁도가 낮은 물이 유입되지 않기 때문에 심층의 탁도는 변하지 않고 오히려 탁도를 증가시키는 무기부유물질의 확산이나 침강으로 다소 증가하게 되는 것으로 판단된다.

4. 임하호 유입지천 수온추정

임하호의 탁도변화에 영향을 미치는 유입지천의 수온 및 탁도를 추정하는 것은 실측값이 없는 과거의 탁수발생현상(예를 들어 2002년 태풍 루사 내습시)을 수치모의하기 위해서는 필수적이다. 임하호 유입지천의 수온추정을 하기 위하여 강우와 탁수가 주로 발생하는 홍수기인 2005년 6월 1일부터 9월 30일까지 측정된 수온을 이용하여 다중회귀분석을 수행하였다. 독립변수로 기온과 이슬점을 선정하였다. 유입지천의 수온변화를 살펴본 결과에 의하면 수온변화가 유량의 영향을 받으므로 유량이 $20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 이상과 이하에 대하여 각각 다중회귀분석을 수행하였다. $10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, $15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 및 $20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 의 3종류에 대하여 다중회귀분석을 수행하여 실측값과 추정값의 차이를 비교한 결과에 의하면 $20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 의 경우가 강우시 수온추정에 가장 적절한 것으로 나타났다. 반면천 광덕교와 용전천 덕천교 지점의 수온에 대한 다중회귀분석식은 다음과 같다.

$$WT_{BB} = 0.24 T_{air} + 0.41 T_{Dew} + 11.34$$

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

$$WT_{BB} = 0.24 T_{air} + 0.41 T_{Dew} + 6.22$$

(반변천 광덕교, 유량 $> 20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)

$$WT_{YJ} = 0.19 T_{air} + 0.41 T_{Dew} + 12.13$$

(용전천 덕천교, 유량 $\leq 20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)

$$WT_{YJ} = 0.19 T_{air} + 0.41 T_{Dew} + 7.84$$

(용전천 덕천교, 유량 $> 20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)

여기서 WT_{BB} 와 WT_{YJ} 는 각각 반변천 광덕교와 용전천 덕천교 지점의 수온, T_{air} 와 T_{Dew} 는 각각 안동기후관측소 기온과 이슬점이며, 적용가능 기간은 6월에서 9월로 볼 수 있다. Fig. 8은 측정된 수온과 다중회귀분석을 통하여 추정된 수온을 비교한 결과를 보여준다. 수온추정능력을 평가하기 위하여 실측값과 추정값의 차의 절대값을 평균한 절대평균오차(Absolute Mean Error, AME)를 사용하였다. 반면천과 용전천의 경우는 AME는 각각 1.57°C 와 1.46°C 으로 나타났다. 즉 반면천과 용전천의 실측 수온과 추정수온과는 평균적으로 각각 1.57°C 와 1.46°C 차이가 있다. 그러나 최대차이는 6°C 정도이다. 이렇게 커다란 차

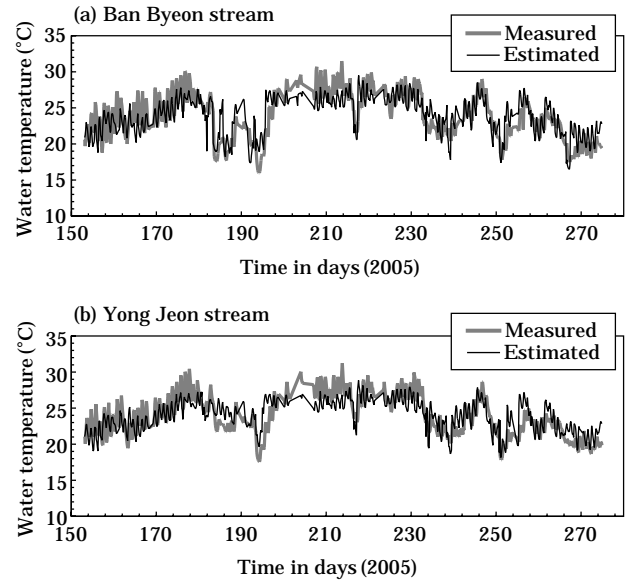


Fig. 8. Comparison of observed and estimated water temperatures.

이를 보이는 때는 강우시 기온과 수온의 변화가 심한 경우에 발생하는 것으로 보인다.

5. 임하호 유입지천 최대탁도추정

임하호 유입지천의 탁도변화를 살펴보면 최대탁도는 유역평균강우량과 최대강우강도에 영향을 받는 것으로 판단되었다. 유역평균강우량과 최대강우강도는 국가수자원관리 종합정보(WAMIS)의 2005년 6월부터 9월까지의 수문정보를 이용하였다. 독립강우사상은 12시간 이상의 시차가 있는 경우로 결정하였으며 3시간 미만의 강우사상은 제외하였다. 임하호 유입지천의 최대탁도를 추정하기 위하여 독립변수를 유역평균강우량과 최대강우강도를 채택하여 다중회귀분석을 수행하였으나 결과가 좋지 못하였다. 따라서 최대강우강도만을 독립변수로 채택하여 비선형회귀분석을 수행하였다. Fig. 9는 비선형회귀분석식과 결과를 보여준다. 비선형회귀분석의 T_{BB} 와 T_{YJ} 는 각각 반면천 광덕교와 용전천 덕천교 지점의 최대탁도이며, R_I 는 최대강우강도를 나타낸다. R^2 으로 비교해볼 때 비슷한 정도의 정확도를 갖는 것으로 볼 수 있으나 정확도는 그다지 높지 않다. 반면천과 용전천의 비선형회귀식의 계수들은 상당한 차이를 나타내었다. 이는 유입지천 최대탁도가 유역특성의 영향을 많이 받기 때문이며 반면천과 용전천 유역의 탁수발생에 커다란 차이가 있는 것을 나타낸다.

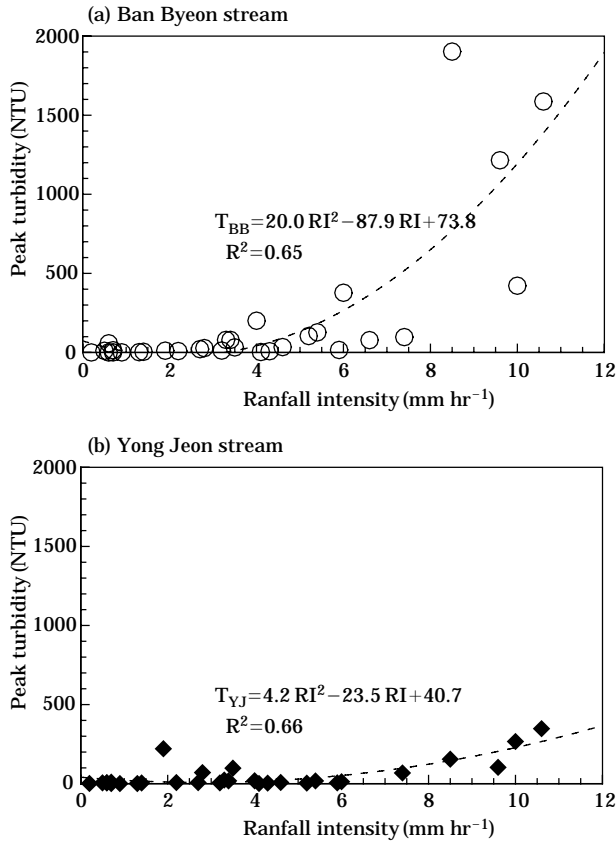


Fig. 9. Comparison of observed and estimated peak turbidity.

적 요

낙동강 수계에 위치한 임하호 유입지천의 수온 및 탁도변화특성을 2005년 6월에서 9월까지 실측된 자료를 이용하여 분석하였다. 비강우시 임하호 유입지천 수온은 5°C 정도의 일교차를 보이며 비교적 규칙적으로 변화하는 것으로 보였다. 강우시 유입지천 수온은 급감하며 유량이 많은 경우에는 기온과 이슬점보다 낮고, 유량이 작은 경우에는 기온보다 높은 경향이 있으므로 유입지천의 수온은 유량의 영향을 받는 것으로 보였다. 임하호 유입지천 탁도는 토양 및 지질특성 차이로 인하여 커다란 차이를 보였고, 유량이 증가함에 따라 증가하지만 최대탁도는 최대강우강도의 영향을 많이 받는 것으로 판단된다.

임하호 유입지천수의 수온과 탁도변화에 따른 저수지 탁도변화를 분석하였다. 임하호 유역의 강우유출로 인하여 유입지천의 유량이 증가하게 됨에 따라 탁도는 증가하고 수온은 급감하여 임하호 표층의 수온보다는 낮고 심층의 수온보다는 높기 때문에 중층으로 유입되어 중층

의 탁도를 증가시키는 것을 알 수 있었다. 그 이후 임하호 유입지천의 유량이 감소함에 따라 탁도는 감소하고 수온은 저수지 표면의 수온과 비슷하거나 높아져 표층으로 유입되어 표층의 탁도를 낮추는 것으로 나타났다.

실측값이 없는 과거의 탁수발생현상을 수치모의하기 위해서 필수적인 유입지천의 수온 및 최대탁도추정을 시도하였다. 수온을 추정하기 위해서 2005년 6월부터 9월까지 실측한 자료와 기온과 이슬점을 독립변수로 채택하였으며 유량이 20 m³ s⁻¹ 이상과 이하의 구간에 대하여 각각 다중회귀분석을 수행하였으며 절대평균오차(AME)는 약 1.5°C였으며 최대차이는 약 6°C였다. 수온추정의 정확도를 높이기 위하여 수온변화양상에 대한 고찰이 필요하고 이를 근거로 하여 새로운 독립변수를 추가할 필요가 있을 것으로 판단된다.

최대탁도를 추정하기 위하여 2005년 6월부터 9월까지의 수문정보를 근거로 최대강우강도를 독립변수로 채택하여 비선형회귀분석을 수행하였다. 최대탁도 추정회귀식에 의하여 계산된 값과 실측값과는 커다란 차이를 나타내는 경우가 나타났다. 최대탁도추정의 정확도를 증가시키기 위하여 탁수발생에 대한 고찰이 필요하며 지점별 유역특성 인자들을 고려하여야 할 것으로 판단된다.

사 사

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

인 용 문 헌

- 김윤희, 김범철, 최광순, 서동일. 2001. 2차원 수리 수질모델 (CE-QUAL-W2)을 이용한 소양호 수온 성층현상과 홍수기 밀도류 이동 현상의 모델링. 상하수도학회지 **15**: 40-49.
- 이상욱, 서동일, 정세웅. 2003. 2차원 수리·수질모델 (CE-QUAL-W2)을 이용한 대청호 수온 성층현상의 모델링. 2003 춘계학술연구발표회 논문집, 대한환경공학회, pp. 676-678.
- 이용근, 김영도, 박기영, 김우구. 2005. 임하호 탁도변화 분석을 위한 2차원 수치모의. 대한토목학회논문집 **25**: 257-266.
- 정세웅. 2004. 성층화된 저수지로 유입하는 탁류의 공간분포 특성 및 연직 2차원 모델링, 대한환경공학회 **26**: 970-978.
- 한국수자원공사. 2004. 임하댐 탁수저감방안 수립 보고서.
- 환경부. 2002. 하천복원 가이드라인.
- Batucá, D.G. and J.M. Jordaan. 2000. Silting and Desilting

of Reservoirs. A.A.Balkema, Rotterdam, Netherlands.
Fischer, H.B., E.J. List, R.C.Y. Koh, J. Imberger and N.H.
Brooks. 1979. Mixing in Inland and Coastal Waters.
Academic Press, New York, New York.
Vanoni, V.A. (Ed.). 1975. Sedimentation Engineering,

ASCE-Manual and Reports on Engineering Practice,
No. 54, New York, N.Y.

(Manuscript received 24 September 2005,
Revision accepted 2 February 2006)