

1차원 동적수질모형을 활용한 용담댐 하류하천의 수온변동 모의

노준우 · 김상호*[†] · 신재기

한국수자원공사, K-water연구원

*상지대학교 건설시스템공학과

Modeling of Water Temperature in the Downstream of Yongdam Reservoir using 1-D Dynamic Water Quality Simulation Model

Joonwoo Noh · Sang-Ho Kim*[†] · Jae-Ki Shin

K-water Research Institute, Korea Water Resources Corporation

*Department of civil engineering, Sangji University

(Received 18 August 2009, Revised 10 February 2010, Accepted 11 February 2010)

Abstract

The chemical and biological reaction of the aquatic organism is closely related with temperature variation and water temperature is one of the most important factors that should be considered in establishing sustainable reservoir operation scheme to minimize adverse environmental impacts related with dam construction. This paper investigates temperature variation in the downstream of Yongdam Reservoir using sampled data collected from total 8 temperature monitoring stations placed along the main river and the major tributaries. Using KoRiv1, 1-dimensional dynamic water quality simulation model, temperature variation in the downstream of Yongdam Reservoir has been simulated. The simulated results were compared with sampled data collected from May 15 to August 1 2008 by applying two different temperature modeling schemes, equilibrium temperature and full heat budget method. From the result of statistical analysis, seasonal temperature variation has been simulated by applying the equilibrium temperature scheme for comparison of the difference between the reservoir operation and the natural conditions.

keywords : Geum River, KoRiv1, Water quality model, Water temperature, Yongdam Reservoir

1. 서론

수자원은 인근 하천유역에 대하여 환경적, 사회적, 경제적 기반을 제공해 준다. 하천과 저수지, 호소, 그리고 하구언은 어류와 수생생물의 서식처를 마련해 줄 뿐만 아니라 여가활동, 수자원공급, 수력발전, 홍수조절, 주운 등 방대한 역할을 담당한다. 하지만 지금까지 과도한 수자원 개발은 유역의 수환경에 영향을 주었고 유역개발로 인한 댐의 건설은 고유어종의 이동경로를 차단하여 서식 및 활동을 저해하는 원인이 되었다. 댐은 하천의 연속성을 교란시키고, 유사이송과 흐름에 대하여 간섭하며, 수생생물의 서식 및 이동을 제한하였다. 외국의 경우 하천 시스템 내에는 하나의 댐이 건설된 경우보다는 여러 개의 댐이 건설된 경우가 많아 연속 불연속 이론(Serial Discontinuity Concept; Ward and Stanford, 1983)으로부터 예측되는 것처럼 댐이 하천에 미치는 영향의 상대적 강도는 하천마다 다르며 댐 운영방식에 따라 댐 하류 십여 km, 어떤 경우는 수백 km에 대해 중요한 영향을 미칠 수 있다고 하였다(박정은과 박석순, 2006).

저수지 하류하천의 경우 물 배분 및 회귀수의 영향을 받게 되며 저수지 운영은 하천의 흐름을 변화시키고 하류부의 수질에 영향을 미친다. 특히 저수지 운영에 따른 하류하천의 수온변화를 파악하는 것은 수생태계의 관점에서 매우 중요하다. 수생생물 중에서 어류는 고등동물로서, 먹이사슬의 상위에 위치하고, 광범위한 서식 조건의 장·단기간 동안 변동양상을 파악할 수 있는 매우 중요한 지표종(indicator species)이며 하천의 유량 및 수온과 밀접한 관계가 있다. 하천과 저수지의 수온모델링은 저수지운영에 있어 매우 중요할 뿐만 아니라 비조절 하천의 수온관리를 위해서도 유용하다. 수온변화는 하천에 서식하는 고유어종의 생태에 매우 큰 영향을 미치며 이들 어류서식에 대한 수온변화를 최소화 하고자 저수지운영기법 개선, 수변서식처 복원, 배수관리, 하천단면 개선 등이 고려되고 있다. 모델링 기술, 모니터링 장비 그리고 컴퓨터가 발달함에 따라 보다 복잡한 수치모형들이 저수지운영과 하천복원에 활용되고 있으며 이러한 모의결과를 어떻게 저수지 운영에 활용하여 어류서식에 적합한 수온기준을 만족할 것인지에 대한 관심이 고조되고 있다.

통상 수온 모니터링 및 모의는 저수지 내부의 성층현상을 재현하기 위한 연구를 중심으로 다양하게 진행되어 왔으나 저수지 하류하천을 대상으로 한 연구는 매우 부족한

[†] To whom correspondence should be addressed.
kimsh@sangji.ac.kr

실정이다. Meyer 등(1993)과 Meyer and Orlob(1994)은 WQRRS를 이용하여 기후변화에 따른 수온 및 수질변동을 모의하였다. Deas 등(1997)은 Sacramento 강의 수온변동을 모의하기 위하여 Meyer와 Orlob에 의해 개발된 모형을 적용하였다. 국내의 경우 정세웅(2004)은 갈수기 수질악화에 취약한 국내 댐 조절하천의 수질관리를 지원하기 위해 CE-QUAL-RIV1모형을 윈도체계의 그래픽 입출력프로세스로 보완한 KoRiv1-win을 개발, 대청댐 하류 금강본류구간을 대상으로 단기간의 저수지 플러싱 방류가 하천의 수리 및 수질변화에 미치는 영향을 모의하였고, 고익환 등(2005)은 동적수질모형과 정상상태 수질모형인 Qual2E의 매개변수를 서로 비교하였다. 황진영(2009)은 과거의 수문 운영자료 및 월별 수질 자료를 토대로 수질개선을 위한 최적의 수문운영 방안을 모색하기 위하여 서낙동강에 대하여 비정상상태(Unsteady state) 수질 예측 모형을 구축, 부정류 흐름상태에서 하천의 동적인 수질변화를 해석하였다.

본 논문에서는 용담댐 하류하천을 대상으로 1차원 동적하천수질모의모형인 KoRiv1-win을 구축하고 수집된 관측값을 최상류단 및 지류단 경계조건으로 적용하여 모형에 내장된 두 가지 기법 즉, Full Heat Budget(FHB)기법과 Equilibrium Temperature(ET)기법으로 수온변동을 모의하였다. 관측값은 2008년 5월 15일부터 2008년 8월 1일까지 기간에 대하여 본류부 및 주요지류 말단에 설치된 수온측정장치로부터 수집된 자료를 활용하였다(한국수자원공사, 2009). 각 기법의 효율성을 검토하기 위하여 통계적 분석기법을 적용하여 관측값과 서로 비교 분석하였으며 이를 토대로 용담댐 운영이 하류하천의 수온변화에 미치는 영향에 대하여 검토하였다.

2. 연구방법

2.1. 모형의 개요

KoRiv1-win 모형은 미 공병단 Waterways Experiment Stations(WES)에서 개발한 CE-QUAL-RIV1모형을 기본 모델로 채택하여 개발되었다(정세웅, 2004). 본 모형은 동적수질해석을 목적으로 개발되었으나 경계조건의 정의에 따라서 정상상태 해석도 가능하며 오염물 유출사고에 따른 단기수질 변동모의가 가능하여 저수지 운영의 의사결정을 지원하기 위한 모형으로 그 활용도가 매우 높다. 본 모형은 수리 및 수질해석모듈로 나뉘져 있으며 수질해석을 위해서는 수리해석이 선행되어야 한다. 수리해석모듈에서는 St. Venant의 연속 및 운동량 방정식을 4점 음해석(implicit) 유한차분법으로 해석하여 유량, 유속, 단면적, 수위와 같은 물리적인 흐름특성을 모의하고 그 결과를 수질해석모듈로 전달하게 된다. 연속 및 운동량 방정식은 다음과 같다.

$$\text{연속방정식 } \frac{\partial(A+A_0)}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (1)$$

운동량 방정식

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(UQ)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} = gA \left(S_0 - S_f - \frac{h_E}{\Delta x} \right) + qU_q \quad (2)$$

한편 수질해석은 수온, CBOD, 유기질소, 암모니아 질소, 질산성 질소, 용존산소, 유기 인, 용존 인, 조류, 용존 철, 용존 망간 및 대장균 총 12가지 수질 항목에 대하여 모의가 가능하다. Holly-Preissman방법에 의한 2점 4차원(2-point, 4th-order) 양해법(explicit)에 의해 확산에 대한 수치적 정확성을 확보하였다. 물질이송 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial(\alpha A)}{\partial t} + \frac{\partial(Q\alpha)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(DA \frac{\partial \alpha}{\partial x} \right) + \gamma q + S^* \quad (3)$$

본 모형은 Full Heat Budget(FHB) 그리고 Equilibrium Temperature(ET) 두가지 기법에 의하여 수온변동을 모의하게 된다. FHB기법은 정상상태 하천 수질모형인 QUAL2E 모형(1987)의 알고리즘과 동일하며 식 (4)와 같이 기술할 수 있다.

$$H_N = H_s + H_L - H_E - H_B \pm H_C \quad (4)$$

여기서 H_N 은 순 열전달, H_s 는 반사 혹은 흡수를 고려한 순 단파장 복사열, H_L 은 순 장파장 복사열, H_E 는 증발에 의한 열 손실, H_B 는 물의 복사에 의한 열손실, H_C 는 수체 표면 및 바닥에서의 열전도에 따른 열 교환을 나타낸다. 식 (4)의 각 항들을 산정하기 위해서는 대기온도, 습도, 일사량, 대기압 등의 자료를 입력해 주어야 한다.

한편 Equilibrium Temperature기법은 수표면에서의 복사열에 의한 영향을 고려하여 물의 온도(T_s)가 평형온도(T_E)와 같게 되면 더 이상의 열교환이 일어나지 않는다고 가정한다 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$H_N = K_E(T_E - T_s) \quad (5)$$

즉 $H_N=0$ 이 되며 여기서 K_E 는 열 교환 계수를 나타낸다.

2.2. 수온자료수집

Table 1에 대상하천 유역에 설치된 수온계의 위치를 정리하였다. 용담댐 하류단의 금강본류 외에 무주남대천과 봉황천에 각 1개씩의 수온관측지점을 선정하여 본류로 유입되는 주요 지류별 수온변동도 함께 측정하였다. 2008년 5월 15일부터 8월 1일까지의 기간에 걸쳐 수온측정을 1시간 간격으로 실시하였으며 수집된 시간별 수온변동 패턴을 Fig. 1에 제시하였다. 하류로 갈수록 그리고 하절기로 접어들수록 점차 수온이 상승하는 경향이 뚜렷하며 주야간 시간대별로 일정한 변동양상을 가지는 것을 알 수 있다.

2.3. 모형의 구축

본 연구를 위하여 용담댐 직하류부터 대청댐 유입부까지

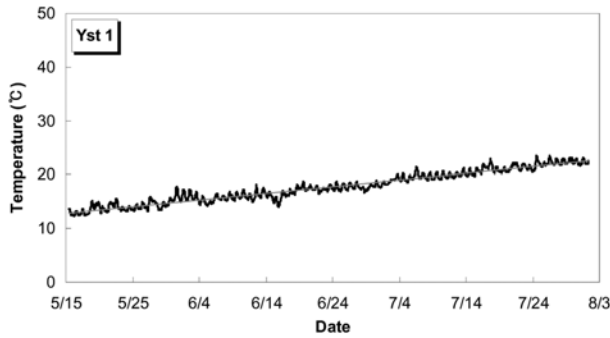
Table 1. Water temperature monitoring station

Monitoring station		Distance from dam (km)
Location	Station	
Yongdam Br.	Yst 1	0.42
Yongdam gage station	Yst 2	3.88
Dumdul Br.	Yst 3	7.82
Yongpo Br.	Yst 4	21.82
Namdae Stream (Tributary)	Tb 1	23.16
Sutong water gage	Yst 5	57.73
Bongwhang Stream (Tributary)	Tb 2	58.68
Hotan water elevation gage station	Yst 6	68.58

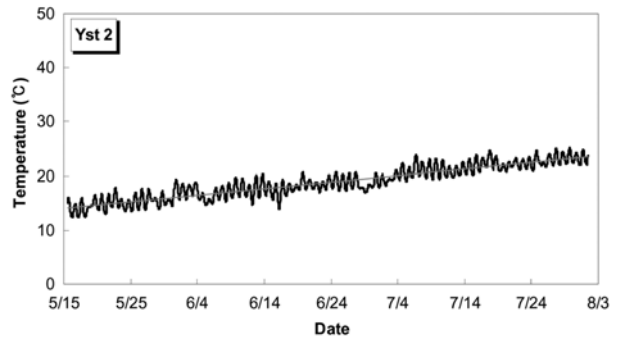
약 145 km에 달하는 금강분류구간을 대상으로 KoRiv1-win 모형을 구축하였다. 분류하천으로 유입되는 주요지류로는 지방 1급 하천인 무주남대천, 초강천, 보청천 및 봉황천,

그리고 지방 2급 하천에 해당하는 영동천이 존재한다. 모형에 입력되는 하천단면은 사각형, 제형, 삼각형, 또는 타원형으로 변환하여 입력하거나, 측량된 x, y 원시자료를 직접 사용할 수 있다. 모의 대상 하천의 단면자료는 건설교통부(2002)의 하천정비기본계획에서 구축한 HEC-RAS 단면 자료를 토대로 해의 발산을 방지하고 안정성을 도모하기 위해 사각형으로 변환·정형화하여 단면을 재구성하였다. 모의대상하천은 용담댐부터 대청댐 유입부까지 분류부 50개, 그리고 5개 주요지류마다 2개의 Node를 가지는 것으로 가정하여 총 60개의 Node로 모형을 구축하였다.

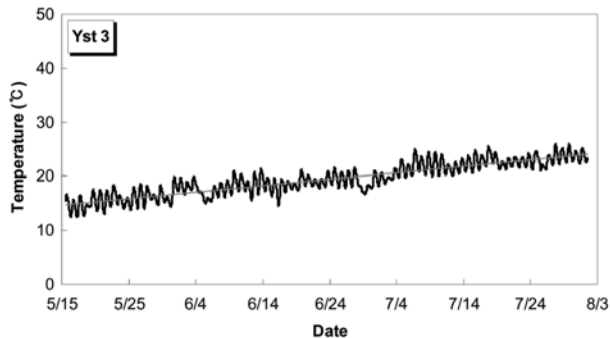
먼저 수리모들의 수행을 위하여 최상류 및 지류단 유량을 산정하였다. 용담댐 방류량 자료의 경우 저수지 운영결과로부터, 지류별 및 저수지로 유입되는 유량은 류경식 등(2007)에 의해 금강유역에 기 구축된 장기유출 모의결과를



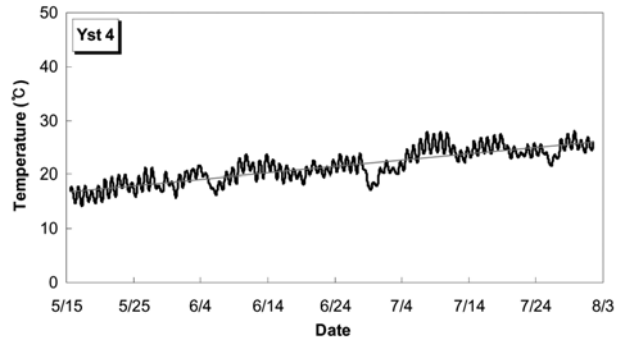
(a) Yst 1



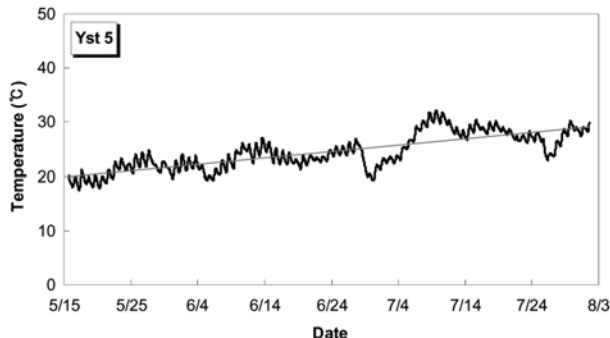
(b) Yst 2



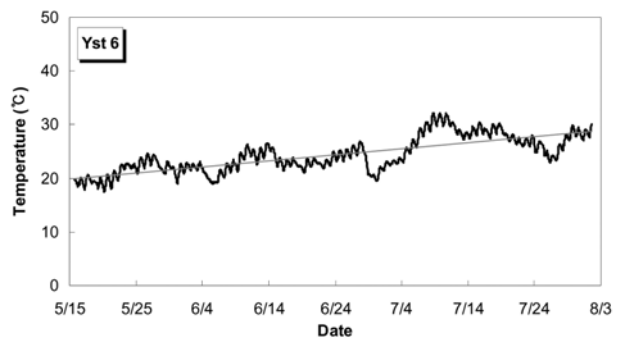
(c) Yst 3



(d) Yst 4



(e) Yst 5



(f) Yst 6

Fig. 1. Measured water temperature data sets collected from monitoring stations.

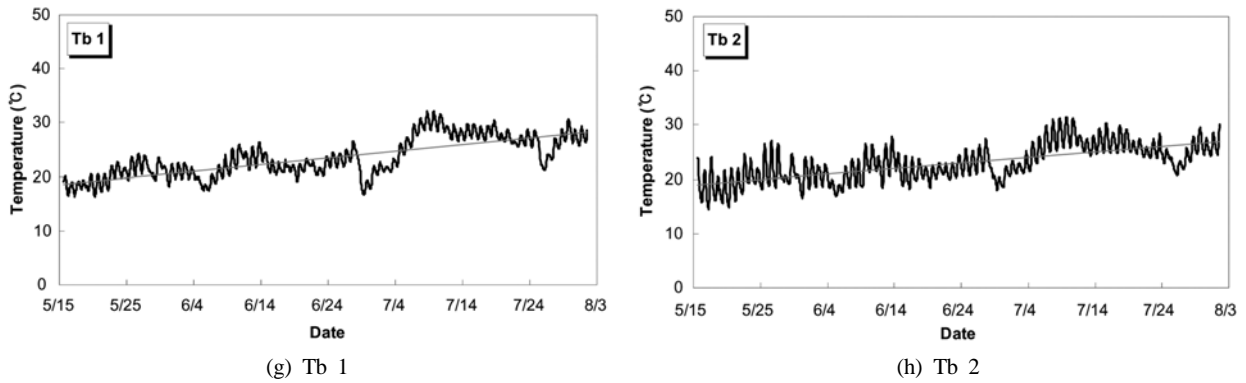


Fig. 1. Measured water temperature data sets collected from monitoring stations (continued).

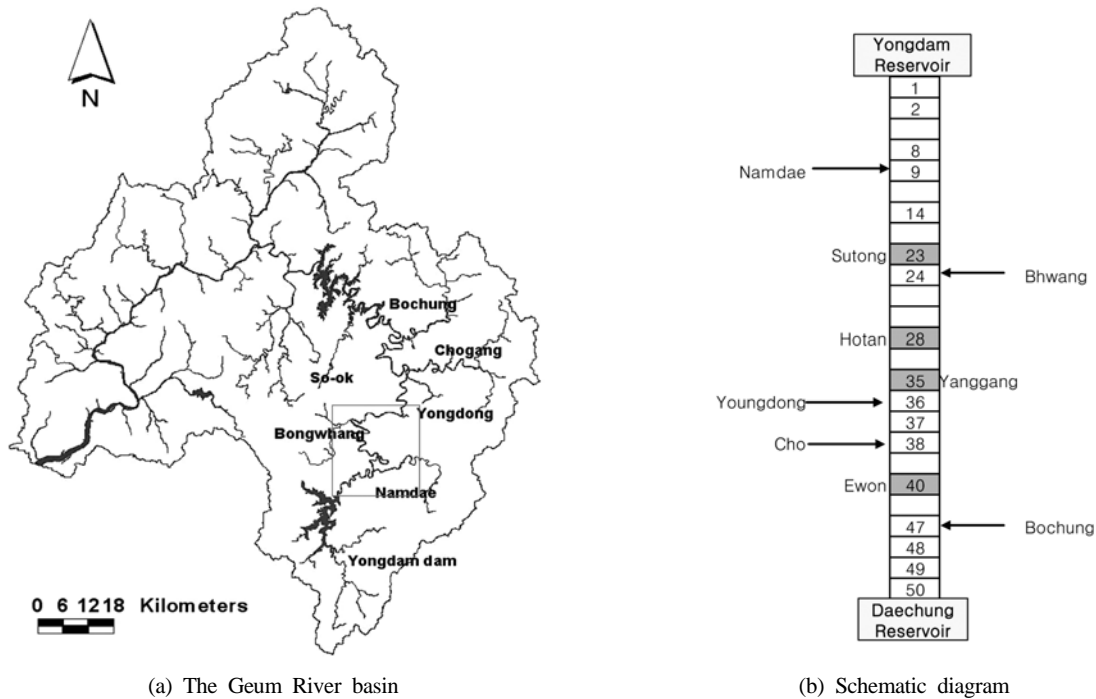


Fig. 2. Geum River basin and schematic diagram of the KoRiv1 model.

이용하여 산정하였다. 각각에 해당하는 수문곡선을 Fig. 3에 제시하였으며 그림으로부터 6월 27일~7월 1일, 그리고 7월 24일~7월 27일에 걸쳐 발생한 강우로 무주남대천 및 봉황천의 유량이 용담댐 방류량을 상회하는 것을 알 수 있다. Fig. 1(e) ~ Fig. 1(h)에서 동일기간에 관측되는 수온저하현상은 이러한 유량증가가 주요 원인으로 작용한 것임을 알 수 있다.

한편 KoRiv1 모형은 수온변동해석을 위해서 최상류단 및 지류단 수온자료 이외에도 건습구 온도, 운량, 풍속, 운량 및 대기압 등과 같은 기상자료를 필요로 한다. 2008년 5월 15일부터 8월1일까지 기간에 해당하는 자료를 금산기상관측소로부터 수집하여 Fig. 4에 제시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 모의결과

먼저 FHB기법에 의한 시간별 수온모의 결과를 실측값과 함께 Fig. 5에 나타내었다. 모의결과로부터 하류단으로 갈수록 관측값과 모의값의 차이가 점진적으로 증가하였고 관측값과 비교하여 1.1~6.6°C 정도로 전체적으로 낮게 모의되었다. ET기법을 적용한 모의결과를 Fig. 6에 나타내었으며 FHB와 마찬가지로 모의값이 관측값보다 다소 낮은 경향을 보이면서 하류단으로 갈수록 그 차이가 점진적으로 증가하였다. 두 가지 기법 모두 관측값의 수온변동 경향을 일정오차 내에서 대체로 잘 반영하여 적절한 수온모의가 이루어진 것을 알 수 있다. Deas and Lowney(2000)는 그들의 보고서에서 모의값과 실측값 사이에 존재하는 오차의 원인으로 최상류 및 지류유입유량 및 수온, 지하수영향, 그리고 하천변을 따라서 발생하는 규명되지 않은 축적 및 고갈(Accretion and Depletion)등을 주원인으로 언급하였다.

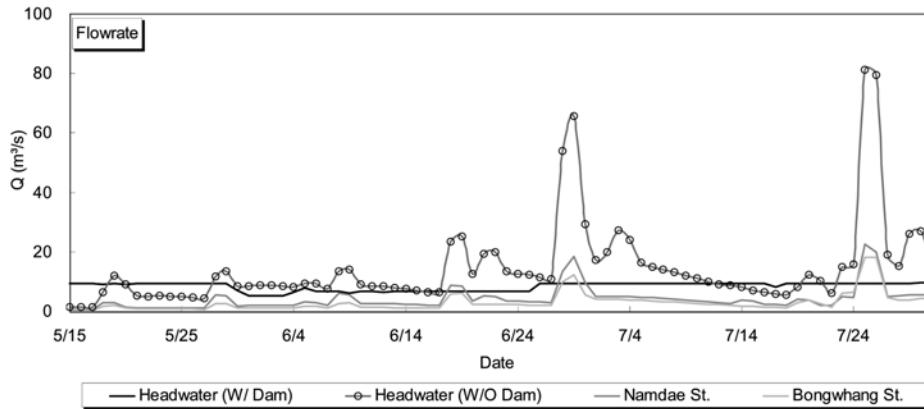


Fig. 3. Flowrate of headwater and tributaries.

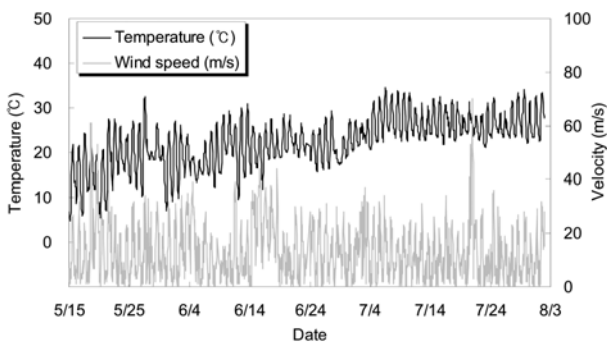


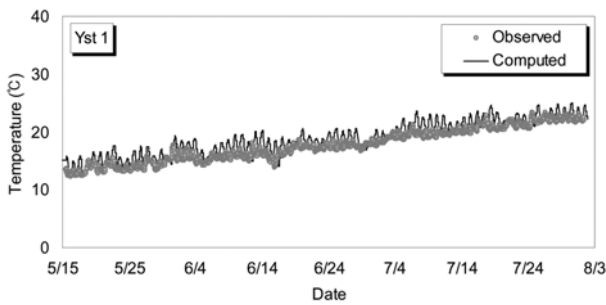
Fig. 4. Meteorologic data collected from the Geumsan weather station.

3.2. 모의결과분석

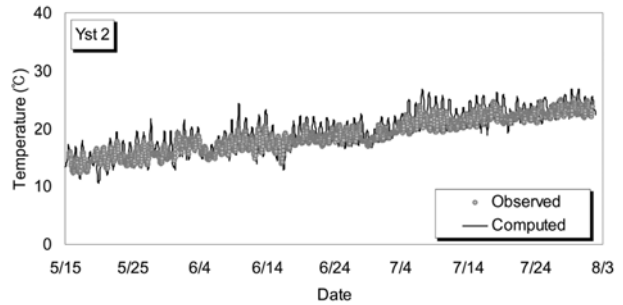
그래프와 더불어 모의결과의 신뢰도를 분석하기 위하여

통계학적 기법이 주로 사용된다. 김상호와 이을래(2008)는 수질모의에 신뢰도 분석기법을 도입하여 확정론적 수질해석의 불확실도를 평가하였다. 본 연구에서는 통계적 기법적용을 위한 목적함수로 평균제곱근오차(Root Mean Square Error, RMSE), 모형효율성(Model Efficient, ME)계수, 결정계수(R^2)를 선택하여 모의결과의 신뢰도를 검토하였다. 평균제곱근오차는 해석하고자하는 변량과 같은 차원을 갖는 지표로서 모형수행의 결과가 실측치와 어느 정도의 차이를 보이는지 측정할 때 사용되며 일종의 오차의 평균치라고 할 수 있다. 즉, 모형수행의 결과가 평균적으로 어느 정도의 유량만큼 오차가 발생하는지를 나타내는 지표로 일종의 평균치라고 할 수 있으며 다음과 같은 식 (6)에 의해서 계산하였다.

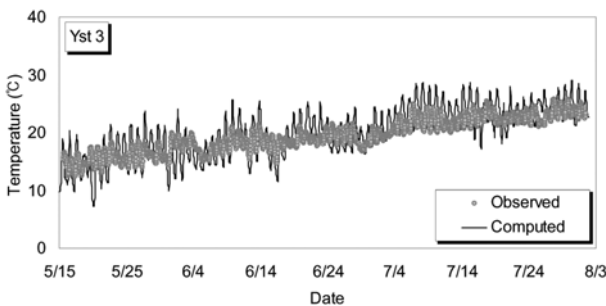
여기서 SQ_i 는 모형의 모의값, OQ_i 는 관측에 의한 측정



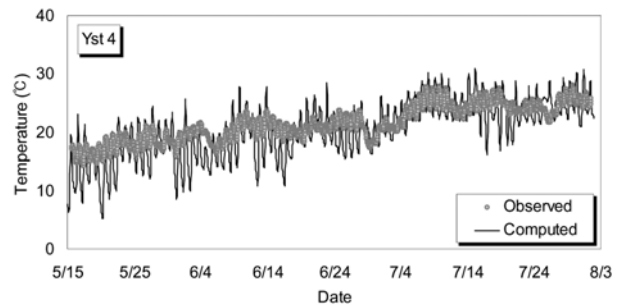
(a) Yst 1



(b) Yst 2



(c) Yst 3



(d) Yst 4

Fig. 5. Simulated results applying FHB scheme.

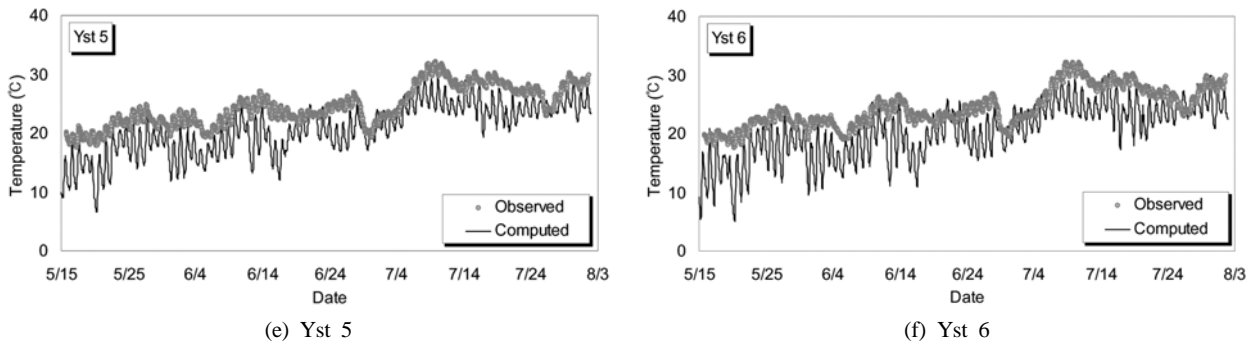


Fig. 5. Simulated results applying FHB scheme (continued).

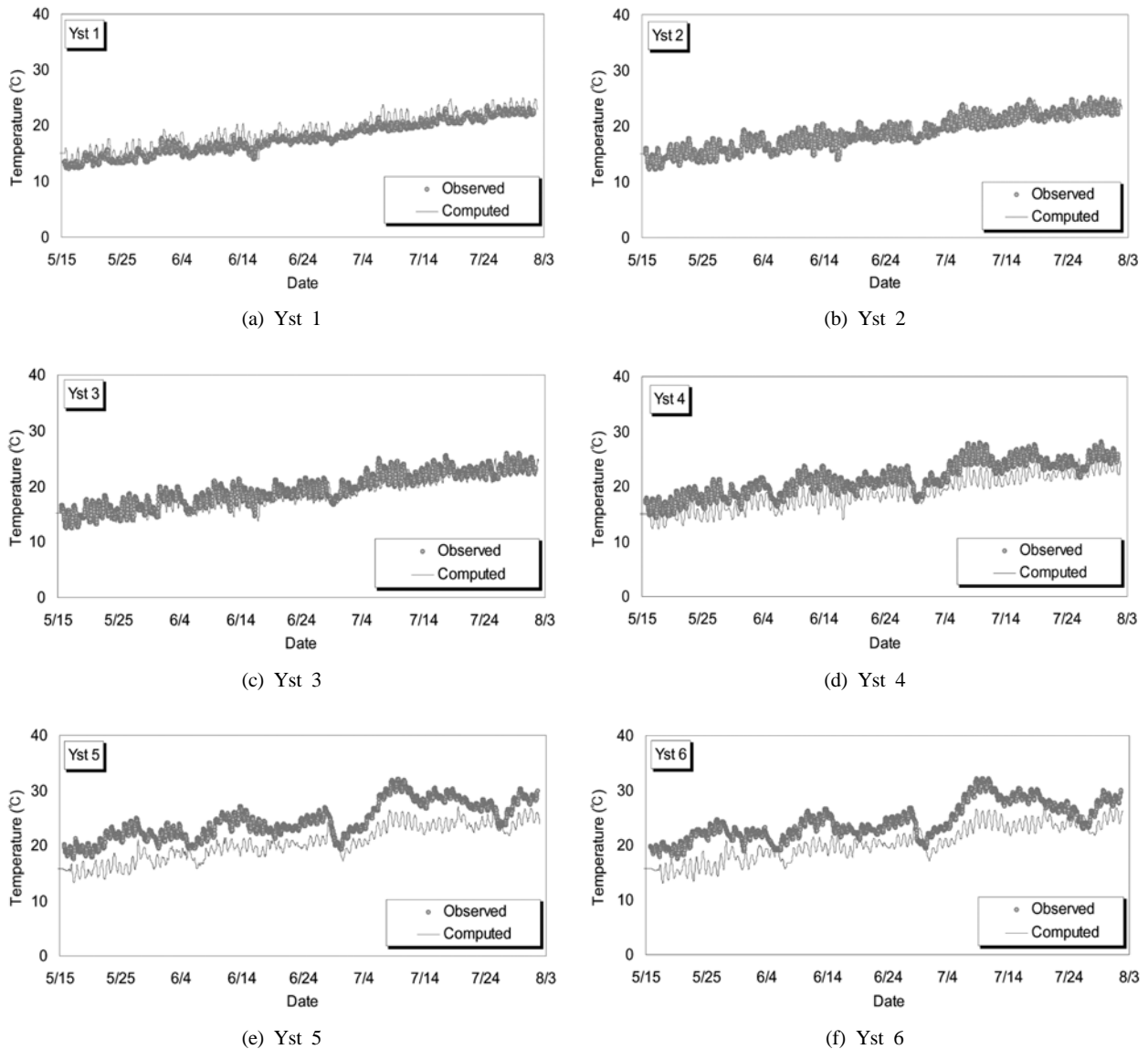


Fig. 6. Simulated results applying ET scheme.

값, N 은 측정값의 수를 나타낸다.

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [OQ_i - SQ_i]^2}{N}} \quad (6)$$

모형효율성 계수는 Nash and Sutcliffe(1970)가 제안한 통계적 기준으로 편의를 줄일 수 있는 무차원 계수이다. 모의값이 실측값과 잘 일치할수록 1에 가까워지는 단순 명료한 성질이 있으며, 이 값이 음수이면 실측값의 평균을 사용하는 것이 모형에 의해 예측된 값을 이용하는 것보다 낫다는 것을 의미한다.

Table 2. Result of statistical analysis

Heat budget formulation	Site	RMSE	ME	R ²
Full heat budget	Yst 1	1.381	0.994	0.918
	Yst 2	1.479	0.994	0.857
	Yst 3	2.715	0.980	0.621
	Yst 4	3.476	0.974	0.526
	Yst 5	4.466	0.967	0.664
	Yst 6	4.990	0.958	0.561
Equilibrium temperature method	Yst 1	1.467	0.993	0.888
	Yst 2	0.730	0.998	0.942
	Yst 3	1.536	0.994	0.798
	Yst 4	3.264	0.994	0.587
	Yst 5	4.184	0.971	0.807
	Yst 6	4.395	0.967	0.636

$$ME = \frac{(F_0^2 - F^2)}{F_0^2} \tag{7}$$

$$F^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [OQ_i - SQ_i]^2$$

$$F_0^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [OQ_i - \overline{OQ}]^2$$

평균제곱근 오차(RMSE)와 모형효율성 계수(ME) 그리고 결정계수(R²)에 대한 계산결과는 Table 2에 제시하였다. 지점별로 상이한 결과를 보였으나 모형 효율성 계수(ME)의 경우 ET의 결과가 FHB 경우보다는 1에 더욱 가깝게 산정됨을 알 수 있다.

3.3. 용담댐 운영에 의한 하류하천 수온변화

댐운영이 하류하천의 수온에 미치는 영향을 알아보기로자 검증된 모형을 바탕으로 용담댐 방류수가 용담댐으로 유입되는 하천수의 수온을 유지한다고 가정한 경우에 대하여 모의를 수행하였다. 모의에 사용된 환경부 수질측정망의 수온 자료는 용담댐 유입부에 위치한 진안천 및 가막지점에서 측정된 월평균 자료를 각 월의 15일의 온도로 가정하고 이를 선형 보간한 값을 일별수온자료로 적용하였다. 5월 15일부터 8월 3일까지 대상기간의 최상류단 수온변동을 Fig. 7에 나타내었고 최대 8.8°C 최소 3.0°C의 수온 차이를 보이는 것으로 분석되었다.

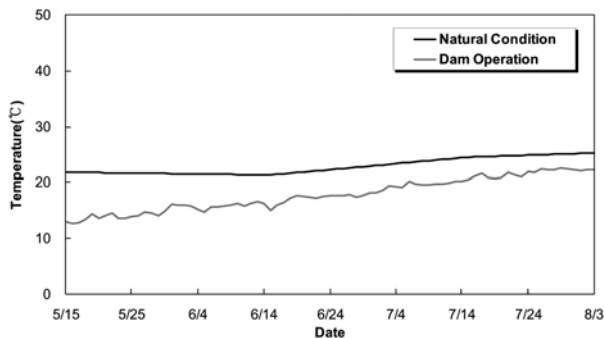


Fig. 7. Temperature variation of headwater boundary condition.

Fig. 7에 제시된 상류단 경계조건을 적용하여 모의한 결과를 각 지점별로 Fig. 8에 나타내었다. 전반적으로 자연상태에서의 모의결과가 용담댐 운영 이후와 비교하여 다소 높게 산정된 것을 알 수 있으며, 무주남대천 합류 이후부터 지류 유입수의 영향으로 자연상태와 비슷한 수준으로 된다. 특히 최상류단으로부터 각각 58 km, 68 km 하류단에 위치한 Yst 5와 Yst 6에서 최대 5.3°C, 4.8°C를 보이는 수온차이가 6월 24일을 전·후로 각각 1.7°C와 1.6°C로 확연히 줄어들면서 자연상태에서의 수온변동 양상에 상당히 근접하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 장마기로 접어들면서 발생하는 대상유역의 강우로 본류로 유입되는 지류 유량이 증가되면서 전체적인 수온변동에 지배적인 요인으로 작용하기 때문이다.

4. 결론

본 연구에서는 저수지 하류하천의 수온변동을 수질모형을 이용하여 모의하고 실측치와 비교를 통하여 수온 모델링 기법의 효율성을 검토하였다. 통상 수온모델링은 저수지 성층현상을 재현하기 위하여 주로 활용되었으나 본 연구에서는 용담댐 하류하천을 대상으로 본류 주요지점 및 주요지류말단에 설치된 자동수온계로부터 수집된 실측자료를 토대로 동적하천수질 모형인 KoRiv1-win 모형을 사용하여 수온변동을 모의하고 실측값과 비교를 통하여 모의결과를 검증하였다.

적용된 모형은 가장 보편적인 수온모의기법 즉 FHB기법과 ET기법을 적용한 수온모의가 가능하며 각 기법을 적용하여 모의된 결과를 그래프와 통계적 기법을 적용하여 서로 비교하였다. 분석결과 두 가지 기법 모두가 대체로 양호한 모의결과를 보여주었고 각 기법의 장단점은 다음과 같다. FHB기법의 경우 ET와 비교하여 전체적으로 측정값에 대한 적중률은 다소 높게 나타났으나 시간별 온도변화에 따른 진폭이 매우 큰 반면 ET기법은 개별적인 모의값에 있어서는 실측값과 다소차이가 있으나 전체적인 수온변동 경향을 보다 잘 반영해 주는 것으로 나타났다. 결론적으로 ET기법을 적용한 모의결과가 모형효율성계수(ME)가 FHB와 비교하여 상대적으로 1에 근접하는 것으로 나타나 ET기법이 다소 효율적인 것으로 분석되었다.

이러한 비교결과를 바탕으로 대상하천의 일별 수온변동양상을 ET기법을 적용하여 자연상태 그리고 저수지운영시로 나누어 하류하천 수온변동을 모의하였다. 모의 결과 최상류단에서 최대 수온차이는 8.8°C로 나타났으며 하류로 갈수록 이러한 차이가 현저히 감소하는 것을 알 수 있었다. 저수지 하류하천의 수온변동은 본류 최상류단의 유량 및 수온이 가장 지배적임을 알 수 있었고, 또한 유입지류의 유량에 민감하게 작용하는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 저수지 운영에 적용한다면 수온저하가 하류수생생물의 서식에 미치는 영향을 최소화할 수 있을 것으로 기대된다.

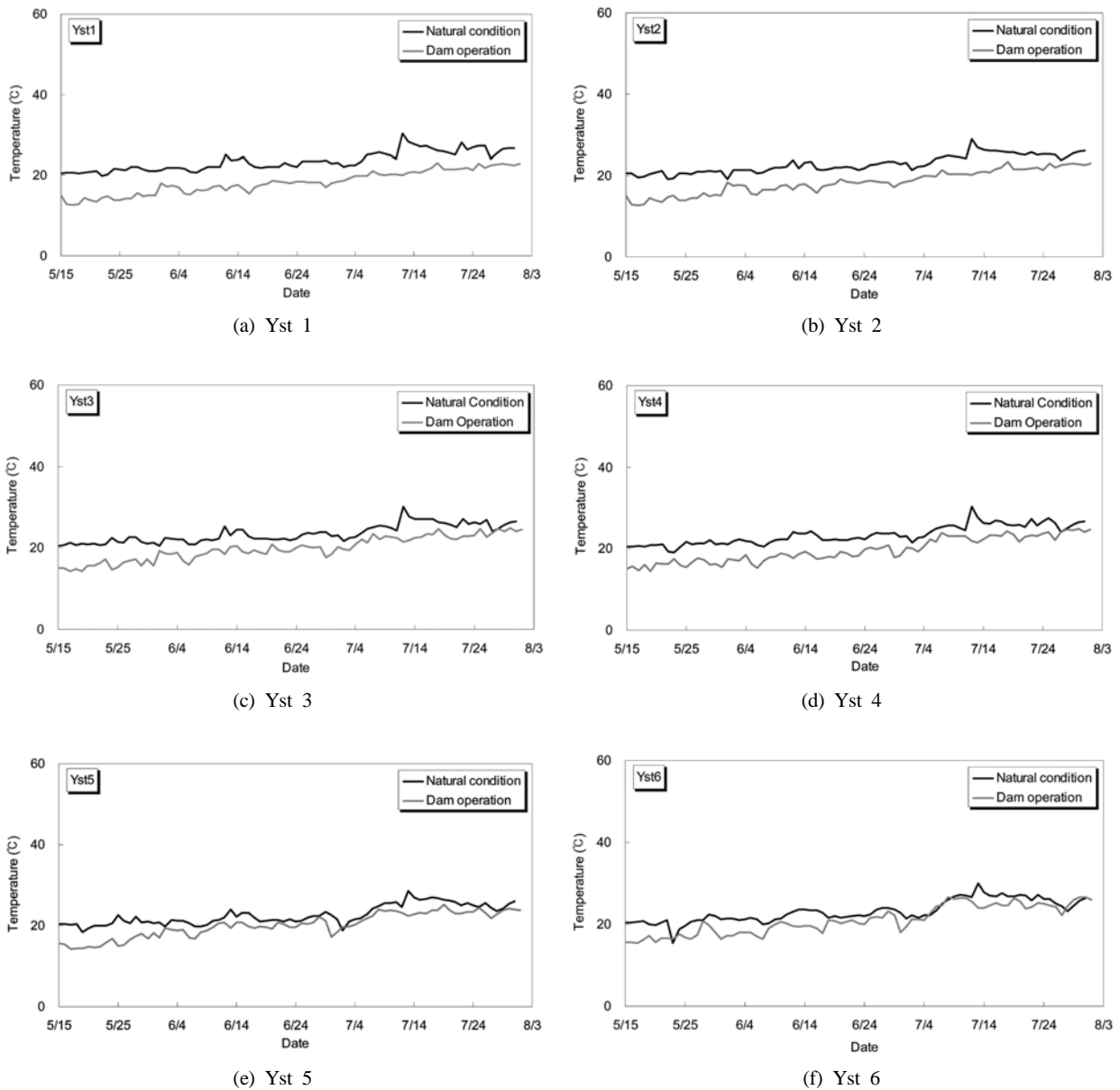


Fig. 8. Comparison of water temperature variation between natural condition and dam operation.

사 사

본 연구는 국토해양부 및 한국건설교통기술평가원 건설기술혁신사업(06건설핵심B01-자연과 함께하는 하천복원기술개발(ECORIVER21))의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

건설교통부(2002). 금강하천정비기본계획.
 고익환, 노준우, 김영도(2005). 정상 및 비정상상태 하천수질모형의 비교. 수자원학회논문집, 38(6), pp. 941-949.
 김상호, 이을래(2008). 횡성댐 상류유역에 대한 수질관리모형의 적용. 수질보전 한국물환경학회지, 24(2), pp. 239-246.
 류경식, 황만하, 맹승진, 이상진(2007). 유역관리모형을 이용한 금강유역 유출특성 해석. 수질보전 한국물환경학회지, 23(4), pp. 527-534.

박정은, 박석순(2006). 연속적 댐 건설이 하류하천 수온 변화에 미치는 영향 예측을 위한 모델연구. 공동추계 학술발표회 논문집, 대한상하수도학회·한국물환경학회, pp. 855-860.
 정세웅(2004). 저수지 플러싱 방류 효과분석을 위한 비정상상태 하천수질 모형의 적용. 한국수자원학회 논문집, 37(10), pp. 857-868.
 한국수자원공사(2009). 용담댐 하류하천 정비사업 하천수리·환경모델링 보고서.
 황진영, 이용근, 김영도, 권재현, 노준우(2009). 서낙동강의 수질관리를 위한 수치모의 방안 연구. 공동추계 학술발표회 논문집, 한국물환경학회·대한상하수도학회, pp. 241-242.
 Deas, M. L. and Lowney, C. L. (2000). Water Temperature Modeling Review Central Valley. California Water Modeling Forum.
 Deas, M. L., Meyer, G. K., Lowney, C. L., Orlob, G. T., and King, I. P. (1997). Sacramento River Temperature Modeling Project Report. Center of Environmental Water Resources

- Engineering University of California, Davis, Report Number 97-01.
- Meyer, G. K., Orlob, G. T., and Jokiel, C. (1993). Chapter 13: Climate Change Effects on Water Quality, Central Valley, California, in Monograph on Water Resources Management in the Phase of Climatic/Hydrologic Uncertainties, Z. Kaczmarek (eds.), International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA).
- Meyer, G. K. and Orlob, G. T. (1994). Impact of Global Warming on the Quality of Surface Waters. Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis.
- Nash, J. E. and Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I - A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, **10**(3), pp. 282-290.