

유역모형 구축을 위한 8일간격 유량측정자료의 일유량 확장 가능성

김상단[†] · 강두기^{*} · 김문수^{**} · 신현석^{*}

부경대학교 환경시스템공학부

^{*}부산대학교 토목공학과

^{**}국립환경과학원 낙동강물환경연구소

The Possibility of Daily Flow Data Generation from 8-Day Intervals Measured Flow Data for Calibrating Watershed Model

Kim, Sangdan[†] · Kang, Du Kee^{*} · Kim, Moon Su^{**} · Shin, Hyun Suk^{*}

Department of Environmental System Engineering, Pukyong National University

^{*}Department of Civil Engineering, Pusan National University

^{**}Nakdong River Water Environment Laboratory, National Institute of Environmental Research Ministry of Environment

(Received 11 October 2006, Accepted 22 November 2006)

Abstract

In this study daily flow data is constructed from 8-day intervals flow data which has been measured by Nakdong River Water Environmental Laboratory. TANK model is used to expand 8-day intervals flow data into daily flow data. Using the Sequential quadratic programming, TANK model is auto-calibrated with daily precipitation and 8-day interval flow data. Generated and measured daily surface flow, ground water flow data and ground water recharge are shown to be in a good agreement. From this result, it is thought that this method has the potential to provide daily flow data for calibrating an watershed model such as SWAT.

keywords : Daily flow, Ground water flow, Ground water recharge, Watershed model

1. 서론

최근 들어 SWAT 모형과 같은 유역모형의 사용빈도가 증가하고 있다. 이는 우리나라 하천관리가 유역관리로 전환되고 있음을 간접적으로 시사하고 있는 것이며, 유역의 수문순환 또한 우기의 홍수관리에서 건기를 포함한 전체적인 관리체제로 도약하고 있음을 의미한다.

SWAT 모형과 같은 유역모형은 보정을 위한 관측자료로서 일 유량자료로부터 산출된 월 평균 유량자료를 이용하여 모형의 매개변수를 추정하고 있다. 우리나라의 경우에는 일 유량자료의 가용성이 매우 떨어지는 실정이며 이러한 자료의 가용성 여부가 유역모형의 적용에 커다란 장애로 작용하고 있다. SWAT 모형이 구축된 바 있는 낙동강 유역의 경우를 일례로 살펴보면 상류 댐 지점의 유입량의 경우에는 양질의 일 유량 자료를 바탕으로 비교적 정확한 결과를 주는 SWAT 모형을 구축할 수 있었으나, 본류의 경우에는 단 하나의 지점(진동 지점)의 자료를 보정자료로 사용한 결과 낙동강 본류를 유하하는 하천유량의 추정에는 매우 큰 불확실성을 내포할 수밖에 없다(국립환경과학원, 2006).

그동안의 하천 유량자료는 주로 홍수방어를 목적으로 구축되어진 관계로 대부분 홍수기에만 의미있는 자료를 갖추고 있으며, 환경관리에 필요한 저갈수기 유량자료는 그 신뢰도가 매우 떨어지고 있다. 다행히 지난 2004년 하반기부터 4대강 물환경 연구소에서 직접 오염총량관리 단위유역 말단부에서 8일 간격으로 유량과 수질을 동시에 측정하기 시작하였다. 사업의 결과 건기 우기의 구별 없이 연중 일정한 간격으로 하천유량 및 수질의 변동여부를 확인하는 것이 가능하게 되었으나, 8일 간격 유량자료 또한 일 자료로부터 산출된 월 평균 자료를 보정자료로 요구하고 있는 유역모형을 구축하기 위한 보정자료로 사용할 수 없다는 단점이 있다.

이에 본 연구에서는 8일 간격 유량자료를 1일 간격 유량자료로 확장하는 기법을 개발하고자 한다. 이를 위하여 개념적 장기유출 수문모형인 TANK 모형이 적용되었다. 월별 pan 증발량 자료 및 일 강우자료, 8일 간격 유량자료가 TANK 모형의 보정을 위해 사용되었으며, TANK 모형의 보정을 객관적으로 수행하기 위하여 최적화 기법 중 하나인 Sequential quadratic programming 기법이 적용되었다. 보정된 TANK 모형으로부터 산출된 연별, 월별, 일별 유량 및 지표면 유출량, 지하수 유출량 등의 수문성분들은 실제 관측자료와의 비교를 통하여 일 유량자료의 확장 가능성 여부를 타진하였다. 대상유역은 관측자료가 풍부한 댐 일유

[†] To whom correspondence should be addressed.
skim@pknu.ac.kr

입량 자료를 이용하는 것이 바람직한 것으로 판단되어, 안동댐, 임하댐, 합천댐, 남강댐 유역을 선정하였으며, 이러한 댐 일유입량 자료 중 8일 간격으로 유량을 관측하였을 경우를 가정하여 TANK을 구축한 후, 모의된 수문성분과 관측된 수문성분을 비교하였다.

2. 연구방법

2.1. TANK 모형

TANK 모형이란 대상 유역을 오리피스형의 유출공을 가진 몇 개의 저류형의 가상용기(TANK)를 조합하여 유량을 유량으로 변환하는 유출계산법으로 장기유출해석에서 비교적 높은 평가를 받고 있는 모형 중 하나이다. TANK 모형의 적용에서 가장 어려운 점들 중 하나는 모형 매개변수의 수가 많고, 이들을 시행착오에 의해서 결정하므로 직감과 경험에 의존할 수밖에 없는 점이나, 한편 계산법이 명확하고, 유출기구가 수문현상을 잘 재현한다는 점에서 모형의 객관성을 인정받고 있다. TANK 모형의 구성으로서는 병렬 TANK 모형과 직렬 TANK 모형이 있는데 Fig. 1에 보이는 직렬 TANK 모형이 일반적인 모형구조이다.

Fig. 1에서 각 TANK 우측의 공은 유출을 나타내고, 바닥의 공은 침투를 나타낸다. 강우는 가장 위에 있는 TANK에 주입되어, 침투한 강우는 바로 하단의 TANK로 주입된다. TANK 모형에서는 유효강우를 따로 계산하지 않고 관측된 강우량을 직접 이용하게 되는데, 역으로 TANK 모형에서의 강우는 어떤 형태든 모두 유출하게 되므로, TANK 모형에서는 유량과 강우의 계측 정밀도가 물수지에 있어서 매우 중요하게 작용한다고 볼 수 있다. 또한, TANK 모형의 계산법은 단순한 선형계산이지만 여러 유출공에 의한 유출이므로 비선형적인 물수지 계산이 이루어진다고 할 수 있다. TANK 모형과 유출현상과의 관계를 살펴보면 다음과 같다.

강우는 TANK 모형 가장 위에 있는 TANK에 주입되며, 두 번째 이하의 TANK는 바로 위 TANK 바닥면의 침투공에서 물을 공급받게 된다. 각 TANK 내에 저류된 물 중 일

부는 측면의 공에서 외부로 유출되고, 일부는 바닥면의 공에서 아래의 TANK로 다시 주입된다. 이 때, 각 단의 TANK 측면 공에서의 유출의 합이 하천유량이 되는 것이다. 즉, 강우는 순차적으로 지하로 침투하고 각 대수층에서 각각 유출해서 하천유량을 형성하는 것으로 이해할 수 있다.

직렬 TANK 모형을 유역의 유출현상에 대응시킨다면, 먼저 유역에 비가 올 경우 지표에 내린 강우는 지표면 저류, 침투, 증발산 등 초기손실이 발생하고 지표면 유출이 시작된다. 따라서 1단 TANK 아래쪽의 유출공이 바닥에서 조금 위쪽으로 붙어 있는 것은 이 초기손실에 대응하는 것이 된다. 그리고 강우가 계속되면 지표면 유출은 점점 증가되어, 1단 TANK 위쪽의 유출공에서의 유출이 나타나게 되며, 1단 TANK의 유출은 지표면 유출(Q_s)에 해당한다. 지면에 내린 강우의 일부는 지표 하로 침투해 들어가며, 그것은 1단 TANK의 바닥 면에 붙어있는 침투공으로 표현되며, 지표면에서 침투한 강우가 지표 하 불투수층에 도달하면 다시 지표면으로 유출되는데 이와 같은 유출은 2단 TANK의 측면의 유출공을 통한 유출에 대응하며 이를 중간유출(Q_i)이라 한다. 침투한 강우는 다시 깊이 침투해 안정한 지하수 유출로서 갈수 시에 완만하게 하천으로 유출되는데, 이것은 3단 및 4단 TANK의 측면 유출공에 대응하는 지하수 유출을 형성하는 것이다.

이런 과정을 통하여 유역의 하천 유출량은 각 TANK에서의 유출량의 합으로 산정되는데, 수질 모형에 주로 적용되는 비 흥수기 유출 계산의 경우에는 통상 4단의 TANK 모형으로 16개 이상의 매개변수를 이용하게 되는 것이 일반적이다. 각각의 TANK에서의 유출량 및 침투량 계산 등 보다 상세한 사항은 Sugawara(1995), 배 등(2003), 성 등(2004), 강 등(2004), 김 등(2005)에서 살펴볼 수 있다.

2.2. TANK 모형의 매개변수 추정

TANK 모형은 추정해야 할 매개변수가 많아 단순한 수학적 방법으로는 각 TANK의 매개변수를 올바르게 추정할 수 없으므로 시행착오법에 의해서 추정하는 것이 일반적인 방법이었다. 그러나 TANK 모형의 매개변수 해석은 경험과

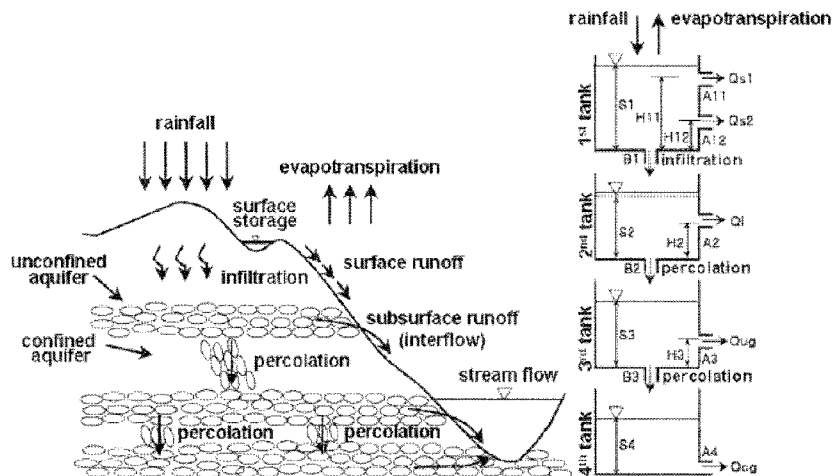


Fig. 1. TANK model concept (Kim et al., 2005).

이에 따르는 직감이 요구돼 처음 시도하는 사람은 방대한 계산을 해야 하기 때문에 매개변수 추정은 매우 어려운 것으로 알려져 있다. 그러나 최근 컴퓨터 기술의 발전에 따라 컴퓨터에 의해 자동적으로 최적 계산을 하는 방법, 예를 들면 Powell 방법, Standardized Powell 방법, Simplex 방법, Sequential Quadratic Programing(SQP) 방법 등이 개발되어 매개변수의 추정을 용이하게 할 수 있게 되었다. 본 연구에서는 이들 중 제약적인 조건하에서의 비선형 매개변수 최적화 기법인 SQP 방법을 이용하여 TANK 모형의 최적매개변수를 추정하였다. SQP 방법에 대한 자세한 사항은 Gill 등(1999)을 참조할 수 있다.

이 때 매개변수 추정을 위한 입력 일유입량자료로서 8일 간격의 관측자료를 사용하여 TANK 모형의 매개변수를 추정하였다. 이는 이렇게 추정된 매개변수들을 적용한 TANK 모형이 원래 1일 간격의 관측자료를 어느 정도 재현할 수 있는지를 알아보기 위함이다.

2.3. 지하수유출 분리기법

8일 간격 일유량자료의 1일 간격 일유량자료로의 확장 가능성을 보다 정밀하게 평가하기 위하여 관측 일유량자료를 지표수유출과 지하수유출로 수분성분을 분리하였다. 관측된 일유량자료로부터 분리된 지하수유출량은 8일 간격 일유량자료로부터 TANK 모형을 이용하여 모의한 지하수유출량과 비교되었다. TANK 모형으로부터 모의된 지하수유출량은 3단 및 4단 TANK로부터 유출된 유량인 것으로 가정하였다.

관측된 일유량자료로부터 지하수유출량을 분리하기 위하여 적용된 방법은 Digital Filter 기법(Lyne et al., 1979)이다. Digital Filter 기법은 유출량 중 지표수 유출량을 고주파수 영역의 신호로 처리하고, 지하수 유출량은 저주파수 영역의 신호로 간주하여 일 유출량을 두 개의 수문성분으로 분리하는 방법이다(한국건설기술연구원, 2004). Digital Filter의 기본적인 식은 아래와 같으며, 보다 자세한 사항은 Nathan 등(1990) 또는 Arnold 등(1999)을 참조할 수 있다.

$$f_t = \alpha f_{t-1} + \frac{1+\alpha}{2}(y_t - y_{t-1}) \quad (1)$$

위 식에서 y_t 는 t 일에서의 유출량, f_t 는 지표수 유출량이며, α 는 filter 상수로서 유역에 따라 적절한 값을 적용하게 되는데, 본 연구의 경우 안동댐, 합천댐의 경우에는 0.925를, 임하댐, 남강댐의 경우에는 0.7을 적용하였다. 지하수 유출량은 위 식으로부터 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$g_t = y_t - f_t \quad (2)$$

여기서 g_t 는 지하수 유출량이다.

TANK 모형으로부터의 지하수 유출성분 모의는 TANK의 3단 및 4단 TANK에서 유출되는 유량을 지하수 유출성분으로 가정하여 Digital Filter 기법에 의해 계산된 관측 지

하수 유출성분과 비교를 수행하였다.

2.4. 지하수 함양량 산정기법

지하수 함양량은 일유출량자료를 이용하여 산정할 수 있는 감수곡선이동법(Rorabaugh, 1964)을 바탕으로 계산의 용이성을 위해 수정된 방법을 적용하였다. 이 방법은 수문곡선의 개개 첨두에 대한 지하수 함양량을 계산할 수 있다. 지하수 함양은 하천 유출의 첨두 값과 거의 일치한다고 간주하며, 지하수 함양은 넓은 지역에 걸쳐 균일하게 분포하며, 지하수 유출은 하천으로 유출된다고 본다. 그리고 이 방법은 하천유량의 인위적인 조절이나 취수가 무시될 수 있는 경우에 적용하고 용설에 의한 영향이 무시될 수 있는 유역에 적용 가능한 것으로 알려져 있다(Arnold et al., 1999). 이를 바탕으로 본 연구에서는 계산의 용이성을 위하여 아래와 같은 과정에 의해 지하수 함양량을 추정하였다(Fig. 2 참조).

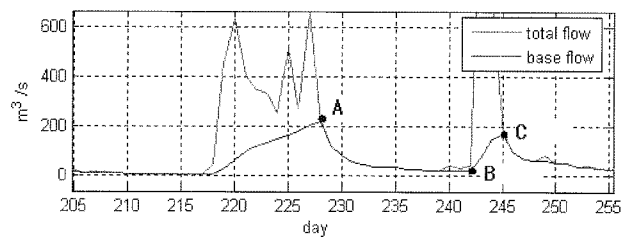


Fig. 2. Groundwater recharge estimation of modified recession curve displacement method.

- 1) Digital Filter 기법에 의해 관측된 일 유출수문곡선에서 지하수 유출성분을 분리한다.
- 2) 지하수 유출수문곡선의 극대값 지점(Fig. 2의 점 A)을 찾고, 그 이후에 가장 처음으로 나타나는 극소값 지점(Fig. 2의 점 B)을 찾는다.
- 3) 감수 상수 α 를 아래 식으로 계산한다.

$$\alpha = \frac{1}{N} \ln \left[\frac{q_A}{q_B} \right] \quad (3)$$

여기서 q_A 는 A점에서의 지하수 유출량, q_B 는 B점에서의 지하수 유출량이며, N 은 점 A와 점 B의 시간차이다.

- 4) 점 A 이후의 극대값 지점(Fig. 2의 점 C)을 찾고, 점 A에서 점 C까지 감수곡선을 외삽하여 점 C에서의 유량 q_C 를 아래와 같이 계산한다.

$$q_C = \frac{q_A}{e^{\alpha \times N_d}} \quad (4)$$

여기서 N_d 는 점 A와 점 C의 시간차이다.

- 5) 점 A에서 점 C 사이의 기간에 대한 지하수 함양량 R 을 아래 식으로 계산한다.

$$R = (q_A - q_C) \times N_d \quad (5)$$

TANK 모형으로부터의 지하수 함양량 모의는 2단 TANK에서 3단 TANK로 침투되는 바닥 유출공으로부터의 유출량으로 가정하여 위 절차에 의해 계산된 관측 지하수 함양량과 비교를 수행하였다.

3. 연구결과

3.1. 대상유역 및 사용된 입력자료

서론에서 언급한 바와 같이 대상유역은 낙동강 수계의 안동댐, 임하댐, 합천댐, 남강댐 유역이며, 이들 댐의 유역 면적은 각각 1584 km², 1361 km², 925 km², 2285 km²이다. 각 댐별 일별 유입량 자료 및 유역 평균 강우자료는 수자원종합정보 웹 사이트(www.wamis.go.kr)에서 수집하였으며, 보정에 사용된 자료는 2005년 365일 중 임의로 40일의 일별 유입량 자료와 365일 강우량 자료, 그리고 기상청에서 제공하고 있는 월별 pan 증발량 자료(안동지점)를 이용하였다. 365일 일별 유입량 자료 중 40일만 선정할 이유는 2005년 낙동강 불환경연구소에서 낙동강 유역 오염총량 관리 단위유역 말단에서 유량을 측정할 주기와 동일한 조건을 만들어 주기 위함이다. 이는 본 연구의 목적이 현재 관측이 진행 중인 8일 간격 유량자료를 1일 간격 유량자료로 확장하는 것이기 때문이다(Fig. 3 참조). 월별 pan 증발

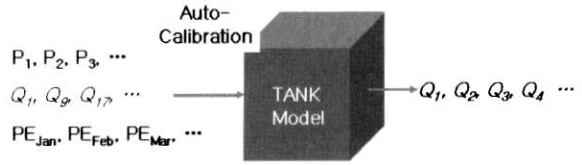


Fig. 3. Schematic diagram of this research.

량 자료는 월별 증발집시계수를 곱하여 월별 잠재증발산량을 산정한 후, TANK 모형의 보정을 위한 입력자료로 이용하였다.

3.2. 일 유량 모의 결과

안동댐, 임하댐, 합천댐, 남강댐 유역의 2005년 일 강우자료, 월별 pan 증발량 자료 및 8일 간격 유출량 자료(연간 40일)를 이용하여 TANK 모형의 매개변수를 추정할 결과를 Fig. 4에 도시하였다. Fig. 4에서 P는 일 강우량(mm), ET에서 점선은 월별 잠재증발산량(mm), 실선은 실제 증발산량(mm), Q는 각 댐별 유입량(cms)을 나타낸다. 보정 결과 8일 간격의 일 유출량 관측치를 잘 재현하고 있는 것으로 판단된다. 참고로 최적화된 TANK 모형의 주요 매개변수는 Table 1에 임하댐의 적용결과를 중심으로 도시하였으며, 최적화 정도를 보기 위하여 최적화 모의 시 사용한 초

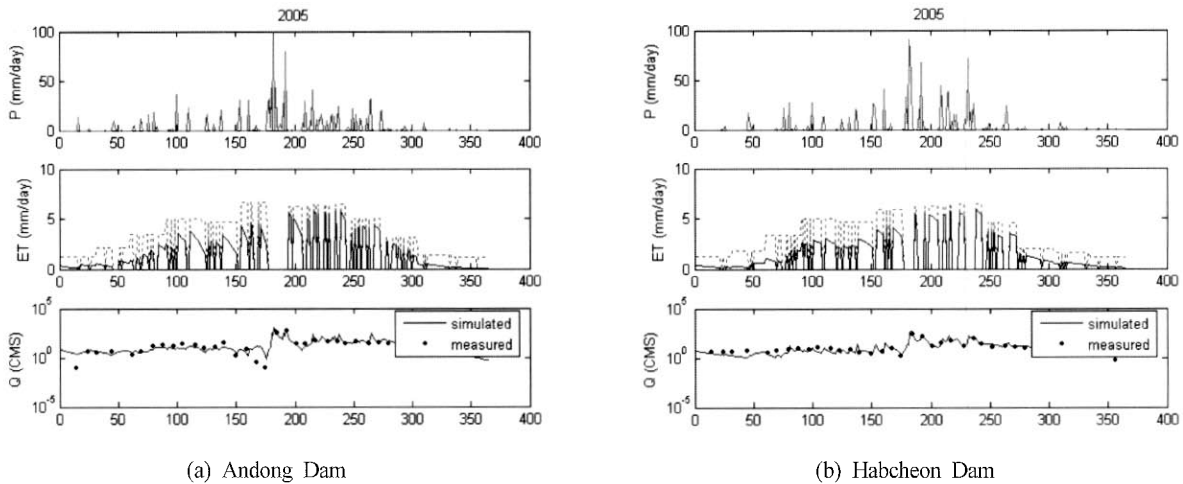


Fig. 4. Calibration results.

Table 1. Optimization results (Imha Dam)

Parameter	Initial values	Lower bounds	Upper bounds	Optimized values
A11	0.8	0.1	0.9	0.100
A12	0.1	0.1	0.5	0.442
A2	0.02	0.01	0.5	0.494
A3	0.01	0.005	0.5	0.500
A4	0.01	0.0005	0.5	0.137
B1	0.3	0.01	0.5	0.300
B2	0.1	0.01	0.5	0.369
B3	0.07	0.001	0.1	0.0728
H11	80	0	300	80.4
H12	50	0	300	20.8
H2	15	0	100	13.5
H3	10	0	100	27.2

기치 매개변수도 함께 제시하였다.

Table 2는 TANK 모형에 의해 모의된 최근 10년간 (1996~2005년, 남강댐의 경우는 2001~2005년) 각 댐별 수문성분의 공헌도를 나타낸 것이다. 연 평균값을 중심으로 정리하였으며, 실제 일별 관측치와 모의치의 비교 또한 수록하였다.

모의된 일 유출량 자료를 정리하여 풍수량, 평수량, 저수량, 그리고 갈수량을 산정, 이를 관측 자료의 대응 유량과 비교하여 이를 Fig. 5에 도시하였다. 현행 수질오염총량관리제도 하에서의 기준유량이 10년 평균 저수량임을 감안한다면 이러한 통계적 유량값에 근거한 유휴곡선의 재현 여부는 제안된 기법의 성패를 좌우하는 중요한 사안이라고 할 수 있다. 그럼에서 볼 수 있듯이, TANK 모형을 이용하여 8일 간격 관측자료를 일 유량자료로 확장한 결과 관측 유량과 비슷한 유휴곡선을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

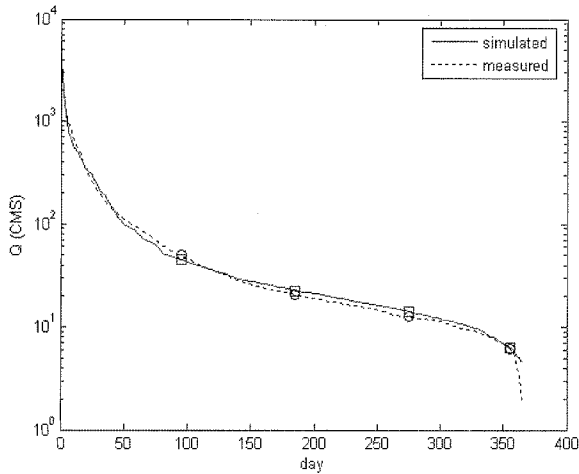


Fig. 5. Flow duration curve (Namkang Dam).

Fig. 6에 모의된 월유량과 관측 월유량을 비교하였다. 월별 유량은 SWAT 모형과 같은 유역모형의 매개변수 보정 시 주로 사용되는 유량이므로 이의 재현 여부는 매우 중요한 연구 성패의 잣대라고 말할 수 있다. Fig. 6으로부터 관측 월유량이 적절히 재현되고 있음을 알 수 있다.

관측 자료의 재현 여부를 보다 정량적으로 판단하기 위하여 연별 및 월별, 일별 모의자료와 관측자료 사이의 통계적 상관성을 그림 Fig. 7에 도시하였다. 여기서 R^2 는 관측자료와 모의자료 사이의 회귀분석 결과 도출된 결정계수이며, NSC는 Nash 등(1970)에 의해 제안된 계수로서 아래 식과 같다.

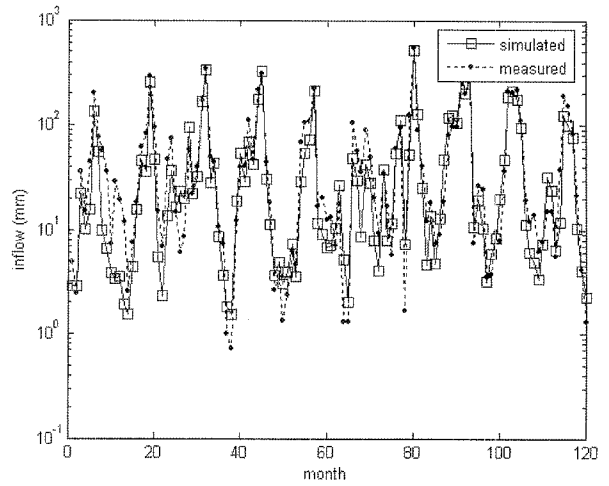


Fig. 6. Monthly flow simulation result (Imha Dam).

$$NSC = \frac{F_o - F}{F_o} \tag{6}$$

여기서,

$$F_o = \sum_{i=1}^n (q_{oi} - \bar{q}_o)^2 \tag{7}$$

$$F = \sum_{i=1}^n (q_{oi} - q_{si})^2 \tag{8}$$

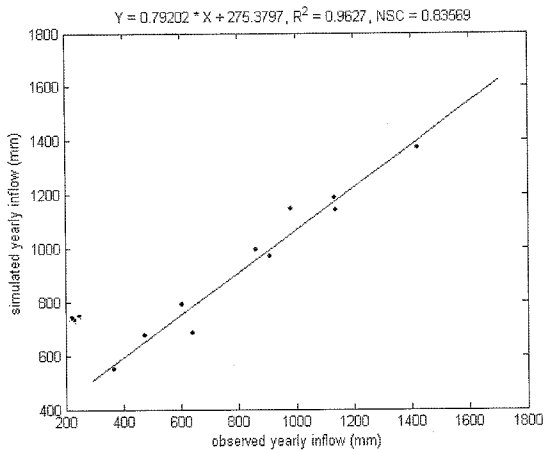
위 식들에서 i 는 계산시간, n 은 총 자료의 수, q_{oi} 는 시간 i 에서의 관측유량, q_{si} 는 시간 i 에서의 모의유량, \bar{q}_o 는 모의기간 내 관측유량의 평균값, \bar{q}_{si} 는 모의기간 내 모의유량의 평균값이다. 참고로 Santhi 등(2001)에 따르면 결정계수 R^2 의 경우는 0.6이상, NSC의 경우는 0.5이상이면 일유출모의 보정을 종료할 것으로 추천하고 있으며, 이러한 기준으로 보았을 경우 적용된 4개 지점의 경우 모두 우수하게 유량자료를 재현하고 있음을 알 수 있다(Fig. 7).

3.3. 지하수 유출 성분 비교

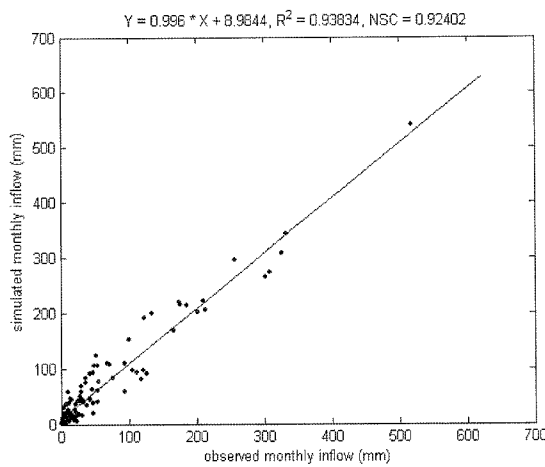
Digital Filter 기법을 이용하여 일별 관측 유입량 자료로부터 지하수 유출량을 분리해 낸 후, 이를 TANK 모형으로 모의된 지하수 유출량과 비교하였다. TANK 모형의 경우에는 3단 및 4단 TANK로부터 유출된 유량을 지하수 유출량으로 간주하였다. Fig. 8에 모의기간에 대하여 관측자료로부터 Digital Filte 기법을 이용하여 유출량으로부터 지하수

Table 2. Daily discharge simulation result from TANK model

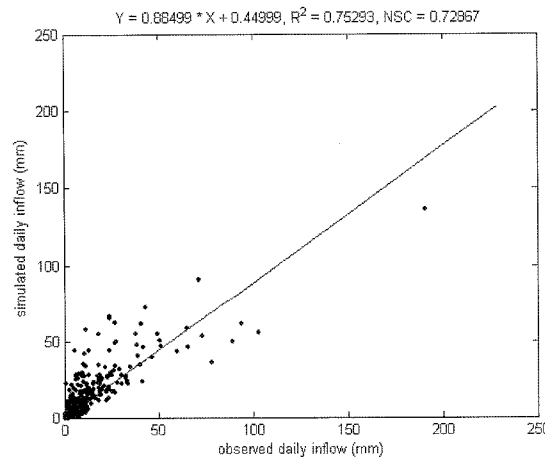
Site	Precipitation (mm)	Evapotranspiration (mm)	Surface runoff (mm)	Subsurface runoff (mm)	Ground water runoff (mm)	Water yield (mm)	Measured flow (mm)
Andong	1,278	453	387	93	346	748	826
Imha	1,105	366	284	98	357	635	740
Habcheon	1,422	472	402	182	367	854	951
Namkang	1,688	532	258	57	843	1197	1158



(a) Habcheon Dam (yearly)



(b) Imha Dam (monthly)



(c) Andong Dam (daily)

Fig. 7. Water yield simulation accuracy.

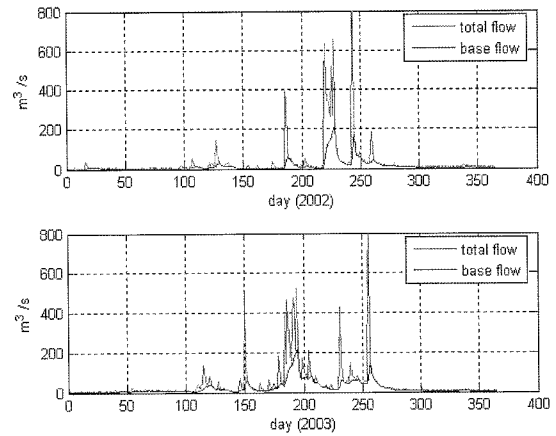


Fig. 8. Separation of base flow (Habcheon Dam).

유출량을 분리한 현황을 나타내었다.

관측 자료의 재현 여부를 보다 정량적으로 판단하기 위하여 연별 및 월별 모의자료와 관측자료 사이의 통계적 상관성을 Fig. 9에 도시하였다. 도시 결과 TANK 모형을 이용하여 8일 간격 유량자료를 1일 간격 유량자료로 확장한 결과 유출성분을 적절하게 모의할 수 있는 것으로 판단된다.

3.4. 지하수 함양량의 비교

Table 3은 TANK 모형에 의해 모의된 최근 10년간 (1996~2005년, 남강댐의 경우는 2001~2005년) 각 댐별 지하수 함양량(TANK)과 관측 일 유출량 자료의 수정 감소곡선이동법(RCD)에 의해 구한 지하수 함양량과의 비교를 나타낸 것이다.

관측 자료의 재현 여부를 보다 정량적으로 판단하기 위하여 연별 모의자료와 관측자료 사이의 통계적 상관성을 Fig. 10에 도시하였다. 도시 결과 TANK 모형을 이용하여 8일 간격 유량자료를 1일 간격 유량자료로 확장한 결과 지하수 함양량을 정량적으로 모의하는 것에는 한계가 있음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 낙동강물환경연구소에서 오염총량관리 단위유역 말단부에서 관측 중인 8일 간격 유량 자료를 1일 간격 유량자료로 확장하기 위한 방법이 제안되었다. 이를 위하여 TANK 모형이 적용되었으며, 일 강수량 자료 및 8일 간격 유량자료, 월별 pan 증발량 자료를 바탕으로 SQP 기법을 이용하여 모형의 매개변수를 보정하였다. 이를 통하

Table 3. Ground water recharge (Unit: mm)

Andong	Yearly	Monthly	Daily
TANK	453.7752	37.8146	1.2422
RCD	346.7124	28.8927	0.94912

Imha	Yearly	Monthly	Daily
TANK	597.5024	49.7919	1.6356
RCD	663.2854	55.2738	1.8157

Habcheon	Yearly	Monthly	Daily
TANK	667.8162	55.6513	1.8281
RCD	397.7229	33.1436	1.0888

Namkang	Yearly	Monthly	Daily
TANK	1122.3075	93.5256	3.0731
RCD	1223.5141	101.9595	3.3503

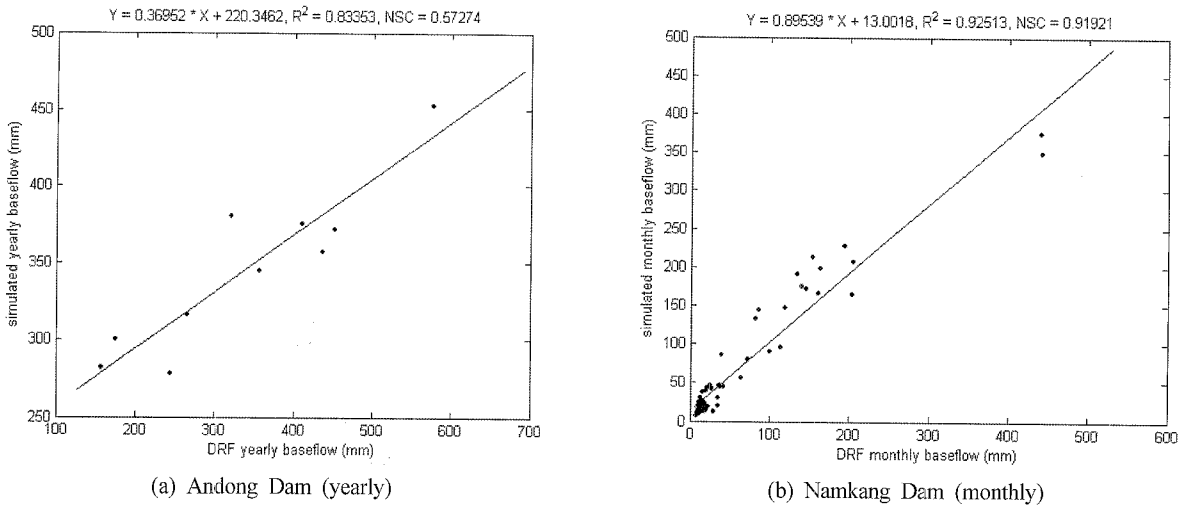


Fig. 9. Base flow simulation accuracy.

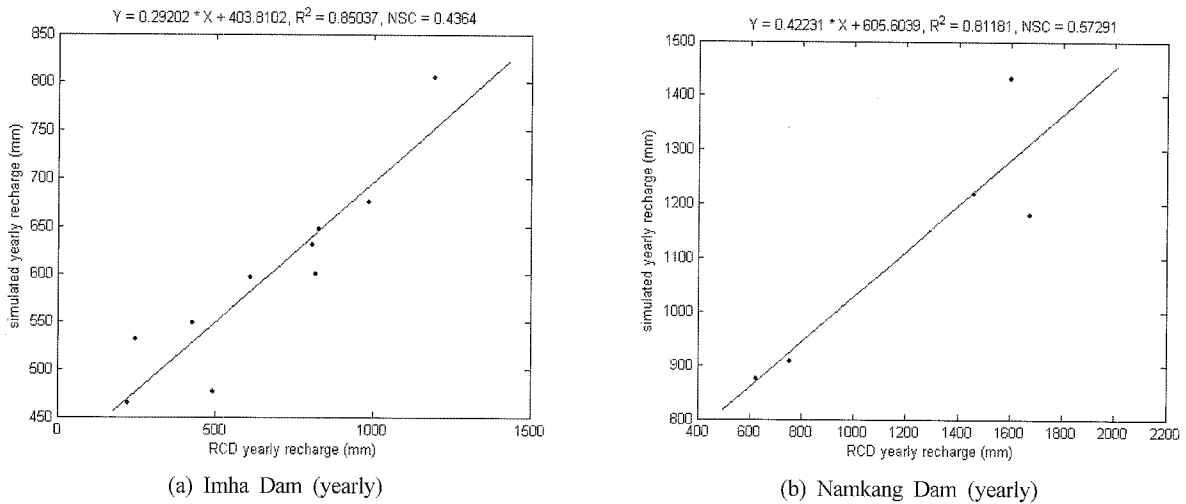


Fig. 10. Ground water recharge simulation accuracy.

여 모의된 1일 간격 유량자료는 관측 자료와 비교하여 볼 때, 지점별로 다소간의 차이는 보이고 있으나 비교적 우수한 일치성을 보이는 것으로 판명되었다. 또한 관측 1일 간격 유량 자료에 Digital 순환 필터를 이용하여 구한 지하수 유출량과 TANK 모형에 의해 모의된 지하수 유출량 또한 잘 일치되는 것으로 보아 유출성분 요소별 모의도 가능할 것으로 보인다. 그러나 TANK 모형을 통하여 지하수 함양량을 정량적으로 모의하는 것에는 한계가 있는 것으로 나타남에 따라 이에 대한 연구가 추가적으로 필요할 것으로 판단된다. 또한 본 연구의 결과에 따라 이후 SWAT 모형과 같은 유역모형의 보정 시에 8일 간격 유량자료의 사용을 가능하게 됨에 따라 유역 모형의 보정자료를 획득하는데 보다 용이하게 될 것으로 기대된다.

그러나 본 연구에서 사용된 유량자료는 기본적으로 댐 운영을 위하여 저수지 수위변화를 이용해 계산된 댐 유입 유량자료임에 주목하여야 한다. 이는 특정한 강우사상이 발생하였을 때 누적된 수위변화를 이용해 계산된 일평균 개념의 유입유량으로, 현재 총량관리를 위해 측정하고 있는 유량자료는 하천유속계를 이용한 순간 유량자료임을 상기

해볼 때, 댐 유입자료와 하천 순간 유량자료의 차이점이 분명 존재한다는 한계점을 내포하고 있다. 그러나 저갈수기간에 현재 수준에서 취득할 수 있는 측정빈도나 공신력 면에서 가장 신뢰성 있는 자료의 활용적 측면에서 본 연구의 의의를 찾아볼 수 있을 것으로 판단되며, 위 자료의 활용성 증진 및 개선사항을 도출하기 위해서는 추후 수위-유량관계 곡선이 있는 특정 유역에 적용하여 수위로부터 변화된 일 유량자료와 8일 간격자료로부터 예측된 일 유량자료를 비교하는 연구 등이 추가적으로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 낙동강 수계 환경기초조사사업(낙동강 물순환 특성조사 및 모의예측기법 개발)의 일환으로 수행되었음.

참고문헌

강신욱, 이동률, 이상호, 토양수분 저류구조를 가진 탱크모

- 형의 보정에 관한 연구, *한국수자원학회논문집*, **37**, pp. 133-144 (2004).
- 국립환경과학원, *낙동강 수계 제2차 오염총량관리 기준설정 연구(기준유량, 안전율, 목표수질설정 연구)*, 환경부 (2006).
- 김상단, 이진행, 김형수, 장기유출 수문모형을 이용한 하천 수질모형의 기준유량 산정, *수질보전 한국물환경학회지*, **21**(6), pp. 575-583 (2005).
- 배덕효, 정일원, 강태호, 노준우, 유출성분을 고려한 Tank 모형의 매개변수 자동추정, *한국수자원학회논문집*, **36**, pp. 423-436 (2003).
- 성윤경, 김상현, 김현준, 김남원, 다양한 목적함수와 최적화 방법을 달리한 SIMHYD와 TANK 모형의 적용성 연구, *한국수자원학회논문집*, **37**, pp. 121-131 (2004).
- 한국건설기술연구원, *지표수 수문성분 해석기술 개발*, 과학기술부 (2004).
- Arnold, J. G. and Allen, P. M., Validation of Automated Methods for Estimating Base Flow and Groundwater Recharge from Stream Flow Records, *J. Am. Water Resour. Assoc.*, **35**, pp. 411-424 (1999).
- Gill, P. E., Murray, W. and Saunders, M. A., User's Guide for SNOPT 5.3: A FORTRAN Package for Large-scale Nonlinear Programming, University of California, San Diego (1999).
- Lyne, V. and Hollick, M., Stochastic Time Variable Rainfall Runoff Modeling. Hydrology and Water Resources Symposium Berth, 1979, Proceedings, National Committee on Hydrology and Water Resources of the Institution of Engineers, Australia, pp. 89-92 (1979).
- Nash, J. E. and Sutcliffe, J. V., River Flow Forecasting through Conceptual Models Part I - A Discussion of Principles, *Journal of Hydrology*, **10**, pp. 282-290 (1970).
- Nathan, R. J. and McMahon, A. T., Evaluation of Automated Techniques for Baseflow and Recession Analysis, *Water Resour. Res.*, **26**, pp. 1465-1473 (1990).
- Rorabaugh, M. I., Estimating Changes in Bank Storage and Groundwater Contribution to Streamflow, *Int. Assoc. Sci. Hydrol.*, **63**, pp. 432-441, (1964).
- Santhi, C., Arnold, J. G., Williams, J. R., Dugas, W. A., Srinivasan, R. and Hauck, L. M., Validation of the SWAT Model on a Large River Basin with Point and Nonpoint Sources, *J. Am. Water Resour. Assoc.*, **37**, pp. 1169-1188 (2001).
- Sugawara, M., Tank Model, in Computer Models of Watershed Hydrology, *Water Resources Publications*, pp. 164-214 (1995).