

Tank 모형의 기저유출 매개변수 산정에 관한 연구

A Study on Baseflow Parameters Estimation of Tank Model

구보영* , 정일원** , 배덕효***
Bo-Young Koo, Il-Won Jung, Deg-Hyo Bae

요 지

Tank 모형은 유역을 임의의 저류탱크로 가정하여, 유출공의 높이를 초과하는 저류고를 방출함으로써 유출량을 모의한다. 유출분석의 목적에 따라 직렬 3단 혹은 4단의 탱크로 구성하여 적용하는 것이 일반적인데, 국내의 일 단위 장기유출분석 연구에서는 직렬 4단 Tank 모형이 널리 활용되고 있다. 이러한 Tank 모형은 유역의 강우-유출관계를 모의하는 과정에 black box적인 특성을 지니고 있다. 그러나 각 저류탱크와 관련된 매개변수를 최적화하기 위해서는 매개변수들의 물리적인 의미를 이해하여야 한다. 이런 점을 고려하여 일본의 Sugawara는 경험적으로 매개변수들이 결정되는 범위를 제시한 바 있다. 그러나 기저유출을 모의하는 Tank 모형의 최하단 탱크에서 이러한 매개변수 범위에서는 적합한 값을 갖으나 장기적인 모의시에 저류고 및 유출고가 계속 증가하여 물리적인 유출특성을 반영하지 못하는 문제점이 나타났다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점의 원인을 분석하기 위해 장기간의 자료가 구축된 소양강댐을 적용 유역으로 선정하여 최하단 탱크의 유출공계수의 변화에 따른 유출량과 저류고의 변화를 살펴보았다. 분석결과 매개변수가 0.0001 ~ 0.001의 범위에서 장기간의 지속적인 저류고와 유출량의 증가가 나타났다. 그리고 유출공계수가 증가함에 따라 최대저류고는 감소하고, 저류고가 증가하는 지속시간이 짧아지는 것으로 나타났다. 그러나 통계치 변화분석에서는 상관계수, 평균제곱근오차, 모형효율성계수에서 거의 변화가 없는 것으로 나타났으며, 유출용적오차에서도 최대 약 6% 정도 유출용적이 변화하는 것으로 나타났다.

핵심용어 : Tank 모형, 매개변수, 기저유출, 장기유출분석

1. 서 론

Tank 모형은 1968년 일본의 Sugawara에 의해 개발된 개념적인 강우-유출 모형으로, 동남아시아의 많은 유역에 적용된 결과 갈수 및 홍수유출 모의에 정확도가 높다고 알려져 있다. 국내에서도 수자원장기종합계획(건설교통부, 2000) 및 한강유역조사(건설교통부, 2004) 등의 여러 연구들과 일반 설계회사에서 장기적인 수자원 부존량 산정에 많이 활용되었다. Tank 모형에 관한 지금까지의 연구들은 모형의 매개변수를 보다 적합하게 추정하려는 연구가 주를 이루었다(Kazumasa, 1995; Lee와 Singh, 1999; 배덕효 등, 2003; Chen, 2005). 그러나 이러한 최적화를 통해 추정된 Tank 모형의 매개변수가 얼마나 물리적인 자연현상을 반영하는가에 대해 분석한 연구들은 거의 없었다. 따라서 본 연구에서는 Tank 모형 중에서 장기유출분석에 많이 적용되고 있는 4단 직렬탱크의 유출모의특성을 분석해 보고자 하였다. 각 단 탱크들의 거동을 분석한 결과 기저유출을 모의하는 최하단 탱크의 유출모의에서 매개변수에 따라 저류고가 모의기간에 따라 증가하는 특징이 나타났

* 정회원·세종대학교 토목환경공학과 석사과정·E-mail : boyoungkoo@nate.com
** 정회원·세종대학교 토목환경공학과 박사과정·E-mail : bobilwon@paran.com
*** 정회원·세종대학교 토목환경공학과 부교수·E-mail : dhbae@sejong.ac.kr

다. 이에 따라 4번째 탱크의 유출량 또한 지속적으로 증가하는 문제점이 발견되었다. 따라서 본 연구에서는 최하단 탱크의 모의특성을 분석하기 위해 매개변수의 변화에 따른 분석을 통해 물리적으로 적합한 매개변수를 산정함에 있어서 고려해야 할 사항들에 대하여 규명해보고자 하였다.

2. Tank 모형 개요

Tank 모형은 복잡한 강우-유출 현상을 계산하는 알고리즘이 다른 강우-유출 모형에 비해 간단하지만 비교적 정확한 유출모의를 수행하는 장점을 가지고 있다 (Yakoo 등, 2001). 일반적으로 장기유출분석에 적용되는 4단 직렬탱크(그림 1)는 약 12개 정도의 매개변수를 가지며, 모형 매개변수 최적화를 위해 일반적으로 수동 보정법이나 자동추적법을 적용한다.

Tank 모형에서 상단의 두 탱크는 빠른 강우-유출 응답을 표현하며, 하단의 두 탱크는 느린 응답을 모의한다. 그림 1에서 A(1/day)는 유출공의 계수이며, B(1/day)는 하단탱크로의 침투공 계수를 나타낸다. 또한, Z(mm)는 각 탱크의 저면으로부터 유출공까지의 높이이며, H(mm)는 저류고를 의미한다. 일반적으로 각 단의 A, B 및 Z는 유출계산에서 상수로 적용되며, H는 계산 과정에 따른 저류량의 변화를 나타내는 것으로 모형계산시 초기저류고는 지정하게 되어 있다. 초기저류고는 저류탱크의 저류고가 안정화되는 기간을 약 2년 정도로 가정하여 유출결과 분석시 최초 2년 기간을 제외한다(건설교통부, 2000). 식(1)~식(4)는 Tank 모형의 계산 알고리즘을 나타낸 것이다.

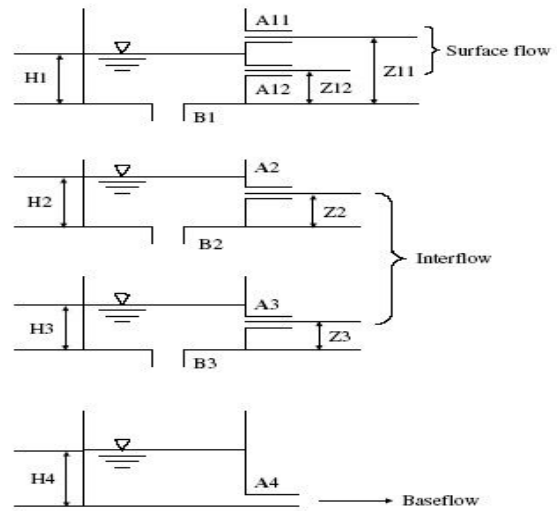


그림 1. Tank 모형의 구성

$$R(x, n) = \begin{cases} A(x)(H(x, n) - Z(x)) & (H(x, n) > Z(x)) \\ 0 & (H(x, n) \leq Z(x)) \end{cases} \quad (1)$$

$$I(x, n) = B(x)H(x, n) \quad (2)$$

$$H(x, n+1) = \begin{cases} H(x, n) - R(x, n)\Delta t - I(x, n)\Delta t + P(n+1)\Delta t & (x = 1) \\ H(x, n) - R(x, n)\Delta t - I(x, n)\Delta t + P(x-1, n)\Delta t & (x \neq 1) \end{cases} \quad (3)$$

$$Q(n) = \sum_{x=1}^4 R(x, n) \quad (4)$$

여기서 x는 상부로부터의 탱크 개수, n는 유출계산 시작일로부터 현재까지의 일 수, Δt는 유출계산간격, A(x)는 x단 탱크의 유출공계수, B(x)는 x단 탱크의 침투공계수, H(x,n)는 n번째 일의 x번째 저류고, I(x,n)는 n번째 일의 x번째 탱크 침투고, P(n)는 n번째 일의 강우량, Q(n)는 n번째 일의 총유출량, R(x,n)는 n번째 일의 x단 탱크 유출량, Z(x) = x단 탱크의 유출공 높이를 나타낸다.

3. 분석 및 고찰

본 연구에서는 그림 2에서와 같이 4번째 탱크에서 지속적으로 저류량과 유출량이 증가하는 문제점의 원인과 해결책을 모색해보고자 하였다. 이를 위해 장기간의 강우 및 유출자료를 보유한 소양강댐 유역을 적용

유역으로 선정하여 기저유출량을 산정하는 4단 탱크의 유출공계수(A4) 변화에 따른 저류고와 유출량의 민감도를 분석하였다. 그림 3은 소양강댐유역에서 최적화된 모형매개변수 중에서 A4만을 변화시켜 최하단 탱크의 유출고의 변화를 나타낸 것이다. 분석기간은 소양강댐의 관측시점인 1974년부터 2000년까지에 대해 분석하였으며, A4는 0.0001 ~ 0.005 범위까지 0.0001씩 변화하는 것으로 고려하였다. 그림 3에서 보는 바와 같이 A4가 0.0001인 경우 전체모의기간동안 계속적으로 유출고가 증가하고 있으며, 0.0005인 경우에도 약 20년 동안 계속적으로 증가하다가 거의 일정한 값을 나타내는 것으로 나타났다. Sugawara(1995)는 최하단 탱크의 유출공계수의 범위를 0.0005 ~ 0.01로 제시하고 있다. 그러나 본 연구에서 분석한 결과 유출공계수가 0.0005 이상의 값을 가질 경우 지속적인 증가현상은 나타나지 않으나 0.001 이상의 값을 가질 때까지는 약 10년 동안 저류량 증가가 지속되는 것으로 나타났다.

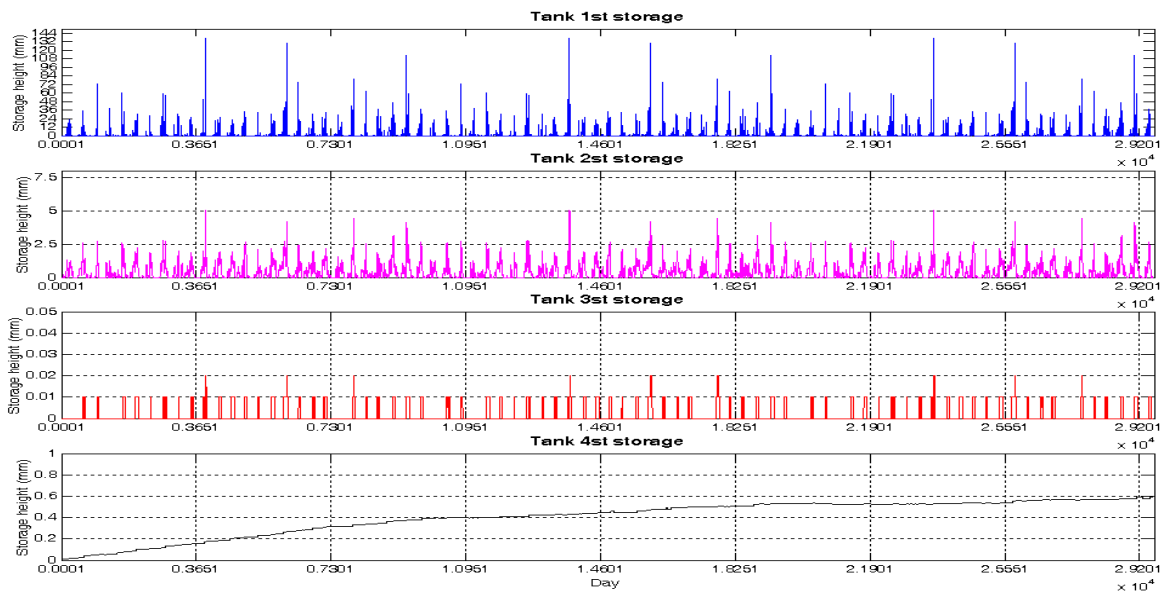


그림 2. 각 단 탱크의 유출고의 변화

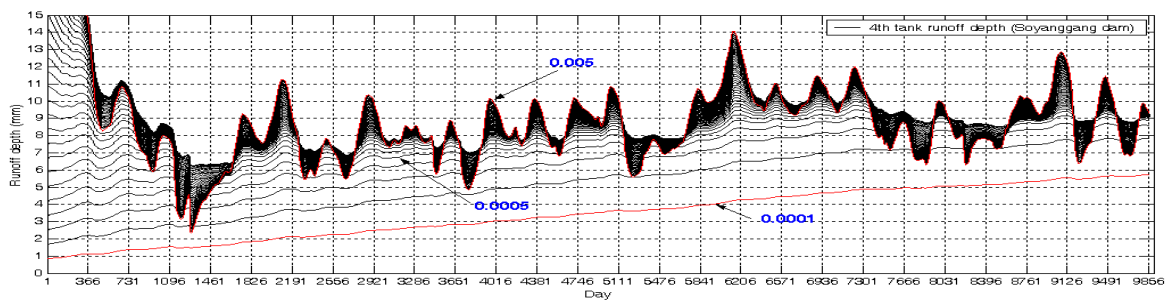


그림 3. 최하단 탱크의 유출공계수(A4) 변화에 따른 유출고의 변화 (소양강댐)

그림 4는 최하단탱크의 유출공계수의 변화에 따른 저류량의 변화를 나타낸 것이다. 장기적인 변화특성을 고찰하기 위해 27년의 자료를 가진 소양강댐유역의 유역평균강수량 자료를 강수현상이 반복된다고 가정하고 연속으로 연결하여 81년의 자료를 구축하고 분석을 수행하였다. 그림 4에서 보는 바와 같이 유출공계수가 증가함에 따라 최대저류고는 감소하고, 저류고가 증가하는 지속기간이 짧아지는 것으로 나타났다.

유출공계수의 변화에 따른 통계치의 변화를 관측기간에 대해 살펴본 결과(그림 5), 상관계수(Correlation coefficient), 평균제곱근오차(Root mean square error), 모형효율성계수(Model efficiency)에서는 거의 변화가 없었다. 그러나 유출용적오차는 최대 약 6% 정도 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 유출공계수가 적을 경우

탱크에 저류되어 있는 양으로 판단된다. 이것은 전체유출량에 비해 상대적으로 적은 양으로 지금까지 장기유출분석을 위해 탱크모형 적용시 겉으로 크게 문제가 나타나지 않은 것으로 판단된다. 그러나 장기유출분석의 목적상 홍수기뿐 아니라 갈수기에서의 정확도 있는 유출분석이 요구되므로 이러한 문제에 대한 분석이 고려되어야 할 것이다. 이러한 연구는 더 나아가 Tank 모형의 매개변수가 가지는 물리적인 의미에 대한 이해도를 향상시키고, 보다 신뢰성 있는 매개변수 추정과 유출분석을 위해 필요할 것으로 사료된다.

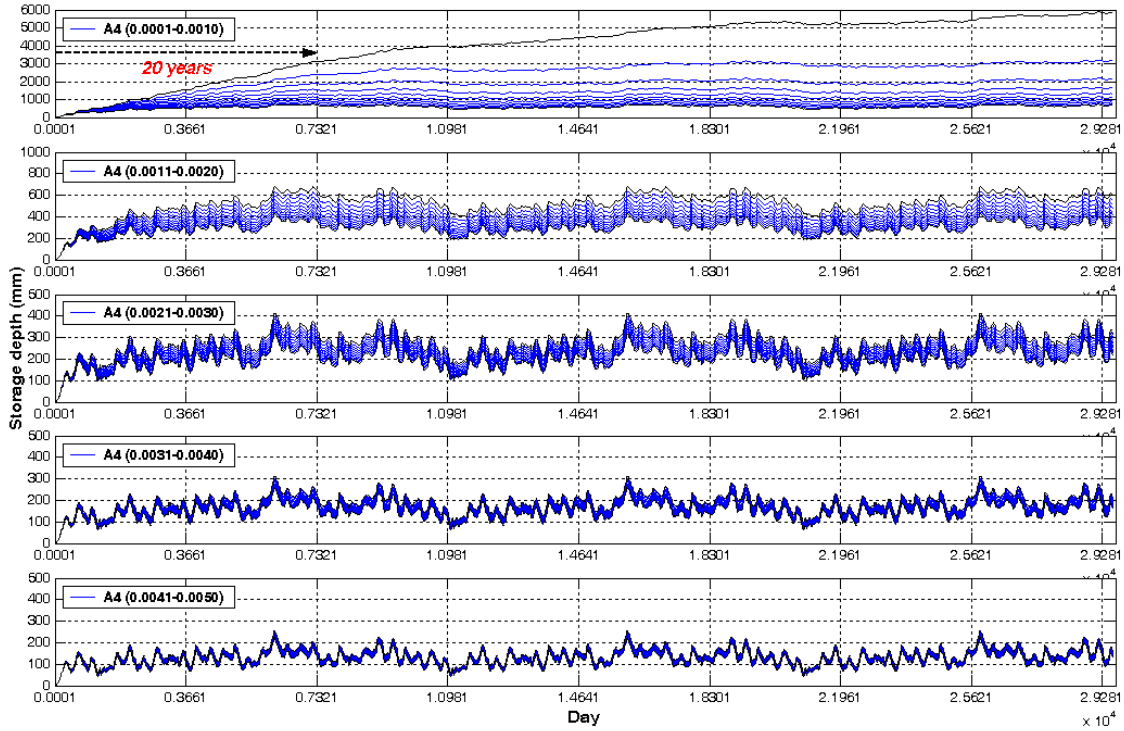


그림 4. 유출공계수에 따른 저류고 변화

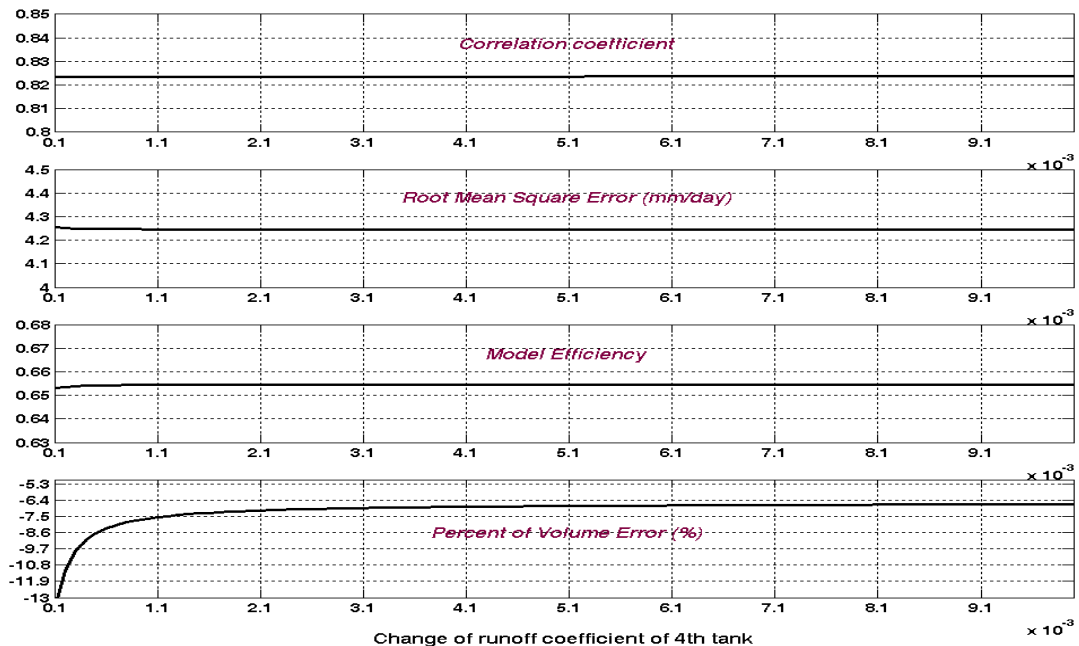


그림 5. 유출공계수에 따른 통계치의 변화

4. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 장기유출분석에서 기저유출을 모의하는 4단 직렬탱크의 최하단 탱크의 유출공계수 변화에 따른 저류고 및 유출고에서 발생하는 문제점을 제시하고 원인을 분석하였다. 분석대상유역으로는 소양강댐유역을 선정하였으며, 최적화된 매개변수를 분석에 이용하였다. 분석결과 유출공계수가 증가함에 따라 최대저류고는 감소하고, 저류고가 증가하는 지속기간이 짧아지는 것으로 나타났다. Tank 모형을 개발한 Sugawara는 최하단 탱크의 유출공계수의 범위를 0.0005~0.01로 제시하고 있으나 0.001 이상의 값을 가질 때까지는 약 10년 동안 저류량 증가가 지속되는 것으로 나타났다. 유출공계수의 변화에 따른 통계치의 변화를 살펴본 결과 상관계수, 평균제곱근오차, 모형효율성계수에서는 거의 변화가 없었다. 그러나 유출용적오차는 최대 약 6% 정도 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 전체유출량에 비해 상대적으로 적은 양이나 장기유출분석에서 중요한 갈수기간 동안의 모의에서는 중요한 의미를 가진다고 할 수 있다. Tank 모형의 매개변수가 가지는 물리적인 의미에 대한 이해도 향상과 신뢰성 있는 매개변수 추정을 위해서는 모형 매개변수에 따른 유출모의 특성의 분석이 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.

감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(1-9-2)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 건설교통부/한국수자원공사 (2004). 한강 유역조사, 제3권-1 유출분석 보고서.
- 건설교통부/한국수자원공사 (2000). 수자원장기종합계획(Water Vision 2020) 보고서.
- 배덕효, 정일원, 강태호, 노준우 (2003). “유출성분을 고려한 Tank모형의 매개변수 자동추정”, **한국수자원학회논문집**, 제36권 3호, pp. 423-436.
- Chen R.S., Pi L.C. and Hsieh C.C. (2005). “Application of Parameter Optimization Method for Calibrating Tank Model.” American Water Resources Association, *J. of American Water Resources Association*. Vol. 41, Number 2, pp. 389-402.
- Kazumasa, M. (1995). “Runoff Prediction by simple Tank Model Using Recession Curves”. American Society of Civil Engineering”, *J. Hydr. Engrg.*, Vol. 121, Issue 11, pp. 812-818.
- Lee Y.H. and Singh V.P. (1999) “Tank Model Using Kalman Filter”, *J. Hydrologic Engrg.*, Vol. 4, Issue 4, pp. 344-349.
- Sugawara, M. (1995). *Tank model*. In: Singh, V.J. (Ed.). *Computer Models of Watershed Hydrology*. Water Resources Publication, Highlands Ranch, CO, USA.
- Yokoo Y., Kazama S., Sawamoto M. and Nishimura H. (2001) “Regionalization of lumped water balance model parameters based on multiple regression”, *J. of Hydrology*, Vol. 246, Issues 1-4, pp. 209-222.