

탱크모형의 매개변수 검정에 관한 연구

A Study on Parameters-Calibration for the Tank Model

서 영 제 *

Suh, Young Jea

Abstract

The purpose of this study is to calibrate the parameters of tank model for the derivation of a design flood hydrograph at a certain river basin outlet. The selected stations are Gongju and Naju station which are located in the Keum and the Youngsan river basin, respectively. The results of parameters calibration for tank model are represented a little different values comparing with the proposed values at Gongju station through the verification of flood hydrograph in modeling procedure but the values of tank parameters at Naju station are fitted well for the derivation of flood hydrograph using the proposed design parameters of tank model.

요 지

본 연구는 우리나라의 2개 하천지점에서 홍수 수문곡선 유도에 이용된 탱크모형의 매개변수를 검정하여 향후 상기 모형들이 관련 하천의 홍수에·경보에 직접 이용되도록 하는데 있다. 선정된 지점은 금강의 공주와 영산강의 나주지점이며 모형의 검정 결과 영산강의 경우 영산강 유역개발 2단계 수문조사에서 유도된 모형의 매개변수가 비교적 타당하였으나 금강의 경우 대형 다목적댐 타당성 조사보고서에 수록된 모형의 매개변수에 10^{-1} 을 곱함으로써 실측치와 거의 일치하는 홍수 수문곡선을 얻을 수 있었다.

Keywords : flood hydrograph, flood runoff, rainfall-runoff model, tank model.

* 농어촌진흥공사 조사설계처

1. 서론

일반 하천에서 어느 지점의 설계홍수량을 산정하고자 할 때에는 기왕에 발생된 강우-유출 사상을 이용하여 강우-유출 모형화와 함께 모형의 검정을 통하여 설계강우량에 대한 발생가능 홍수량을 추정함으로써 계획된 지점의 침투 및 시간별 홍수량을 구할 수 있다. 우리나라 하천의 시간별 설계홍수량 산정을 위하여 지금까지 이용된 방법은 단위도 및 합성단위도가 대부분이며 최근에는 Clark의 유역추적법이 많이 이용되고 있다(이리지방국토관리청, 1993). 그리고 침투홍수량 산정을 위해서도 도시유역과 산림유역을 총망라하여 유출계수로서 조정이 가능한 합리식과 수정 가지야마 공식이 가장 많이 이용되었다(건설부, 1992). 또한 1970년대 이후 외국 수문기술자들에 의하여 우리나라에 소개되었던 방법중의 하나가 미국 토양보전국, SCS(U.S. Soil Conservation Service)에서 유도한 삼각형단위도법이다(농업진흥공사, 1973). 이 방법은 미세측 유역의 유역특성만을 이용하여 설계홍수량을 산정하는 장점이 있는 반면 소규모 실험유역에서 측정된 자료를 이용하여 유도되었고 침투홍수량 산정에 하도의 저류량을 반영할 수 있는 홍수 지체시간 등이 홍수량 산정에 고려되지 않아 유역면적이 클 경우 그 적용성에 문제가 발생할 수도 있다. 본 연구에서 선정된 탱크모형은 대부분이 일본의 수문기술자들에 의하여 우리나라에 소개된 모형이다. 특히 대청댐과 충주댐 그리고 영산강 2, 3단계 개발을 위한 타당성 조사시 계획지점의 홍수량 산정을 비롯하여 일별유출량 모형에도 이용된 적이 있다. 그러나 이 모형의 강우-유출에 대한 연산과정이 비선형임으로 인하여 다년간의 숙련이 필요하고 또 모형의 매개변수 산정에 있어 자동화가 어려움으로 보편적으로 이용되지 못하고 있는 실정이다. 근해 연구에서는 우리나라 대하천에서 외국의 수문기술자들에 의해 개발된 탱크모형의 매개변수를 검토하여 이들 모형이 향후 홍수예경보에 이용할 수 있도록 하였고 또 탱크모형에 대한 강우-유출 알고리즘을 소개하여 이 모형을 보다 폭넓게 이용하도록 하는데 그 목적이 있다. 분석에 이용된 모형은 영산강 유역의 경우 제2단계 수문조사에서 개발된 니주지점과 금강의 경우 대청댐 타당성 조사에서 이용된 공주지점의 탱크모형이다.

2. 탱크모형의 개요

일본의 Sugawara(菅原, 1967)가 최초로 개발한 탱

크모형이란 임의의 집수유역을 여러개의 저류형 탱크로 가상하여 강우-유출과정을 모형화한 것으로서 하천유출과 관련된 일종의 개념적인 수문모형인 동시에 일체형(lumped) 모형이다. 따라서 하천의 지배유역이 보다 복잡할 경우 유역전체를 하나의 일체형으로 가상하여 모형화 하는 방법이 보다 효율적이므로 탱크모형의 이점을 최대한 이용할 수 있다. 이와 같은 탱크모형의 몇 가지 특성을 간단히 정리하면 다음과 같다.

(1) 유역내에 내린 강우중 초기손실 및 시간별 손실량등 강우형태에 따라 변화하는 현상이 자동적으로 모형중에 포함되어 있다(최상단의 탱크 유출공과 침투공 높이를 조절함).

(2) 강우량이 증가하면 유출이 가속도적으로 증가한다는 비선형성이 모형중에 포함되어 있다(최상단 유출공의 갯수를 조정하므로 가능함).

(3) 강우강도에 따라 유출량의 증가 및 감소가 자동적으로 조절되며 이는 탱크의 저류고와 유출공 및 침투공의 계수로서 조절할 수 있다.

(4) 각 단 탱크의 유출은 각각 고유의 수문감수계수(recession curve coefficient)에 해당되는 지수감수곡선을 나타낸다. 따라서 유출량은 고유의 감수곡선 형태를 가진 몇개의 유출성분에 대한 무게로서 표시할 수 있다.

(5) 강우가 탱크를 통과하여 하단으로 진행되는 사이에 자동적으로 지체시간이 경과되어 하단 탱크의 유출량은 시간적으로 지체된 유출현상을 나타낸다.

(6) 단위도법, 유출함수법, 저류함수법등과 같은 공통의 특징을 가지고 있음은 물론 그 특징들을 집약하고 있다.

(7) 홍수및 저수유출도 동일한 모형으로 유도가 가능하다.

(8) 유출계산을 가감승산만으로 할 수 있다.

(9) 탱크모형의 최대 결점은 비선형이기 때문에 모형의 구축 및 매개변수(각 탱크의 유출공의 높이와 계수, 저류고 및 초기치)등을 시산에 의해서 구할 수 밖에 없다.

(10) 홍수의 전과를 표시할 수가 없다.

3. 탱크모형의 이론

탱크의 유출은 유출공 계수보다 탱크의 수심인 저류고(貯溜高)에 비례한다. 그럼 1과 같이 가장 간단한 한 개의 탱크를 생각해 보자. 유출량 $q(t)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$q(t) = h(t) \lambda \quad (1)$$

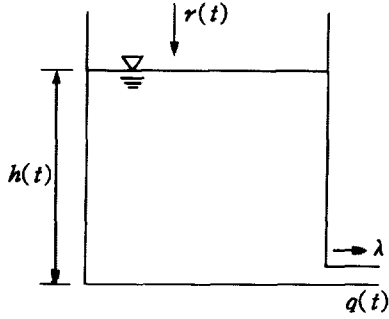


그림 1. 1단 탱크의 개념도

여기서, λ 는 유출공의 계수 (hr^{-1} , day^{-1}), t 는 시간, h 는 탱크의 저류고(mm)이다. 만약 탱크의 상방향에서 강우유입이 없다면 연속방정식은 다음과 같다.

$$-q = \frac{dh}{dt} \quad (2)$$

그리고 상기 식 (2)를 적분하여 초기유출량 q_0 를 대입하여 풀면 식 (3)이 된다.

$$q = q_0 e^{-\lambda t} \quad (3)$$

여기서 q_0 는 $t=0$ 일때 유출량이며 이 식은 시간에 따른 지수감수를 나타낸다. 만약 탱크 상방향에서 유입수량(강우 또는 상단탱크의 침투량) $r(t)$ 가 있으면 식 (3)은 식 (4)로 나타낼 수 있다.

$$r(t) - q = \frac{dh}{dt} \quad (4)$$

상기 식을 풀기 위하여 적분방정식을 적용하면 다음과 같다.

$$q(t) = \int_0^{\infty} r(t-\tau)\lambda e^{-\lambda\tau} d\tau \quad (5)$$

여기서 τ 는 순간단위시간이다. 또 상기 식은 단위도가 지수감수의 함수로 표시할 수 있는 유출함수법의 계산과 동일하다고 볼 수 있으며 단위도의 회선적분(convolution integral)방정식이 된다. 즉 탱크모형은 단위도법에 의한 유출계산이 하나의 탱크에 의한 유출계산과 동일하다고 생각할 수 있다.

또 그림 2와 같이 유출공이 바닥보다 약간 위에 있는 탱크를 생각해 보자. 즉 탱크의 유출공 수심이 H_1 일 경우는 탱크내 강우에 의한 저류고가 H_1 에 도달할 때까지 유출이 일어나지 않고 침투만이 생기므로 이

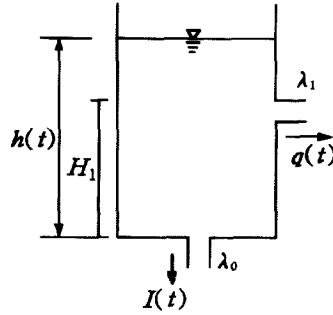


그림 2. 비선형 탱크모형

H_1 은 이른바 초기손실 또는 토양습윤 보충수를 나타낸다. 이와 같은 탱크는 최상단과 제2단의 탱크에서 짧은 시간동안 강우강도가 크면 표면유출이 발생하기 쉽고 장시간의 강우라도 약한 강도이면 침투량이 많아져 토양습윤이 증가한다는 현상을 잘 나타내고 있다. 그림 2의 탱크에서 유출량 $q(t)$ 와 침투량 $I(t)$ 는 다음 식과 같이 나타난다.

$$q(t) = (h(t) - H_1) \lambda_1 \quad (6)$$

$$I(t) = h(t) \lambda_0 \quad (7)$$

상기 식에서 $h(t) > H_1$ 인 경우만 생각하였고 여기서 강우량과 침투량을 고려한 연속방정식을 나타내면 식 (8)과 같다.

$$r(t) - q(t) - I(t) = \frac{dh}{dt} \quad (8)$$

또 $r(t)=0$ 인 경우의 $q(t)$ 와 $I(t)$ 에 대하여 풀면 다음 식 (9)와 식 (10)이 된다.

$$q(t) = C \lambda_1 e^{-(\lambda_0 + \lambda_1)t} - \frac{\lambda_0 \lambda_1 H_1}{\lambda_0 + \lambda_1} \quad (9)$$

$$I(t) = C \lambda_0 e^{-(\lambda_0 + \lambda_1)t} + \frac{\lambda_0 \lambda_1 H_1}{\lambda_0 + \lambda_1} \quad (10)$$

상기 식에서 C 는 적분상수이며 그리고 $r(t) \neq 0$ 인 경우는 다음과 같다.

$$q(t) = \frac{\lambda_1}{\lambda_0 + \lambda_1} k(t) - \frac{\lambda_0 \lambda_1 H_1}{\lambda_0 + \lambda_1} \quad (11)$$

$$I(t) = \frac{\lambda_0}{\lambda_0 + \lambda_1} k(t) + \frac{\lambda_0 \lambda_1 H_1}{\lambda_0 + \lambda_1} \quad (12)$$

여기서 $k(t)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$k(t) = \int_0^{\infty} r(t-\tau)(\lambda_0 + \lambda_1)e^{-(\lambda_0 + \lambda_1)\tau} d\tau \quad (13)$$

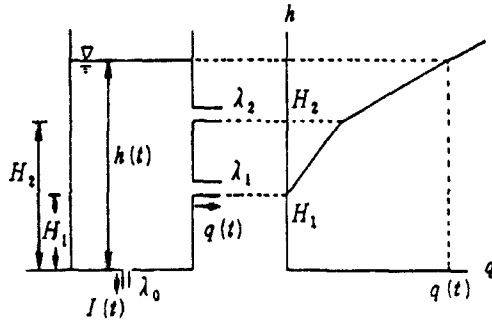


그림 3. 탱크의 저류고와 유출량과의 관계

상기 식 (9)와 식 (10)에서 보는 바와 같이 $q(t)$ 및 $I(t)$ 가 감수계수 $(\lambda_0 + \lambda_1)$ 의 지수함수로 표시되는 것을 나타내고 있으며 이것은 또 탱크의 유출공이 하나뿐인 경우만 생각하였다. 같은 방법으로 탱크의 우측에 유출공이 2개 있는 경우 (그림 3.에서 $h(t) > H_2$ 인 경우만 생각한다) $q(t)$ 및 $I(t)$ 는 감수계수를 $\lambda_0 + \lambda_1 + \lambda_2$ 로 세개의 지수함수로 나타낼 수 있다. 이와 같이 탱크의 유출량 및 침투량은 탱크의 저류수심이 증가함에 따라 지수감수계수가 $\lambda_0, \lambda_0 + \lambda_1, \lambda_0 + \lambda_1 + \lambda_2, \dots$ 로 증가함을 나타낸다. 따라서 직렬탱크 모형의 유출량은 각 탱크마다 상이한 감수계수를 갖는 지수함수의 합계로 표시된다. 일반적으로 상단 탱크가 하단 탱크에 비하여 유출공, 침투공의 계수가 크므로 강우시에는 상단탱크의 유출이 심하며 무강우시는 시간이 지남에 따라 먼저 상단의 탱크가 비게 되어 점차 하단의 탱크의 유출이 커지게 된다.

4. 모형의 적용

영산강 나주지점의 경우 영산강유역 2단계 개발을 위하여 하구둑 기본설계시 일본의 산유용역단(농수산부와 농업진흥공사, 1975)에 의해서 개발된 3단 직렬 탱크를 이용하였고 금강유역 공주지점의 경우 대청댐 타당성조사시 일본공영(건설부와 한국수자원공사, 1973)에 의해 개발된 4단 탱크모형을 이용하였다. 탱크의 개수는 실험유역의 토양 및 지형조건, 유역면적의 크기와 관련된 유출량의 변화에 따라 결정할 수 있지만 공식화된 자료가 없는 관계로 모형화하는 과정에서 개략적으로 유역크기에 따라 시행착오법을 반복할 수 밖에 없는 실정이다. 따라서 금회 검토에 이용된 모형은 상기 두 보고서에서 개발된 탱크의 개수를 그대로 이용하였다. 검토에 이용된 자료는 영산강의 경우 1981년 7.11~7.12일과 동년 9.2~9.3일

에그니스 태풍시 관측된 2건의 강우-유출량 사상과 금강의 경우 1981년 9.29~10.3일간의 강우-유출량 사상과 설계 당시의 매개변수 검정을 위하여 대청댐 타당성 조사보고서에 수록된 1970년 7.16~7.22일간, 2건의 관측자료를 이용하였다. 표 1과 표 2는 각각 영산강유역의 경우 나주지점과 금강유역의 경우 공주지점의 유역평균 강우량을 산정하기 위하여 작성된 Thiessen망의 강우관측소에 대한 지배면적과 Thiessen계수를 나타낸 것이다.

모형의 입력자료는 실측된 면적강우-유출량 자료와 그리고 유출량 단위환산을 위한 유역면적 및 탱크의 매개변수들이다. 그리고 그림 4, 5는 금회 분석에 이용된 탱크모형을 나타낸 것이다. 그림 4에서 팔호안의 매개변수는 타당성 보고서에 수록된 값을 나타낸 것이다.

표 1. 영산강유역 나주지점의 Thiessen계수

관측소명	지배면적 (km ²)	계 수
단양	332	0.161
광주	237	0.115
화순	254	0.123
오류	241	0.117
나주	132	0.064
영암	13	0.006
광산	355	0.172
장성	4991	0.242
계	2063	1.000

표 2. 금강유역 공주지점의 Thiessen계수

관측소명	지배면적 (km ²)	계 수
진천	976	0.137
청주	1,382	0.194
공주	385	0.054
대전	642	0.09
옥천	748	0.105
영동	556	0.078
추풍령	485	0.068
장수	171	0.024
금산	570	0.08
무주	741	0.104
진안	470	0.066
계	7,126	1.000

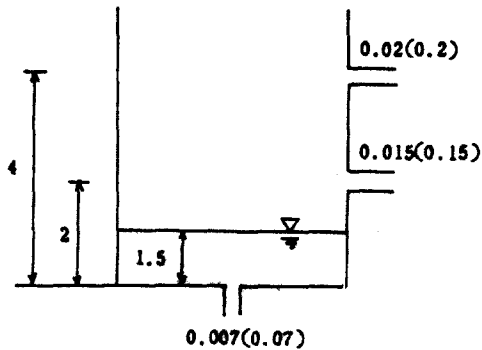
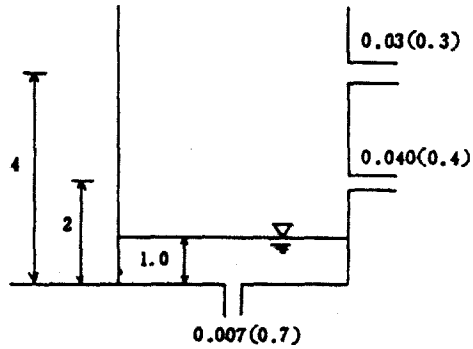
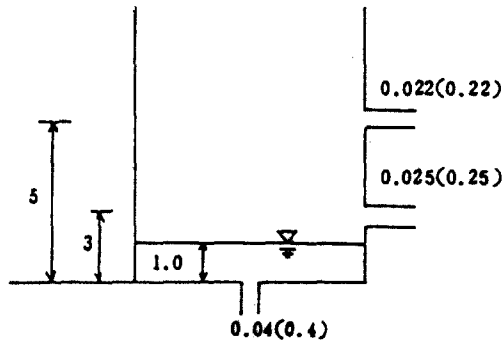
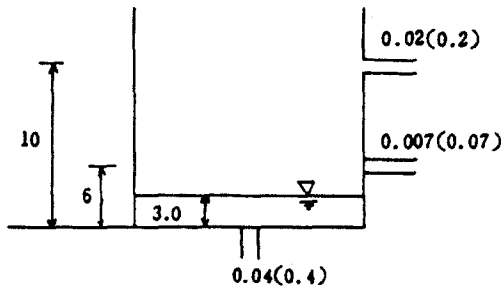


그림 4. 금강 공주지점의 탱크모형

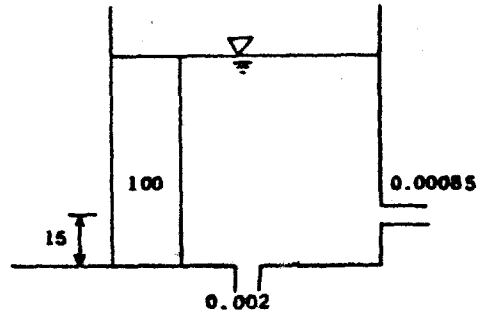
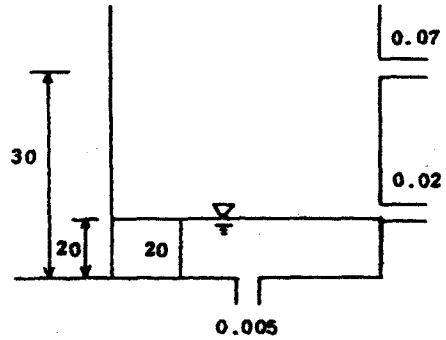
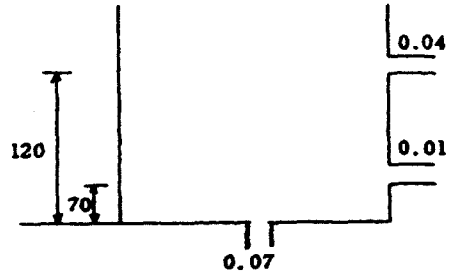


그림 5. 영산강 나주지점의 탱크모형

5. 분석방법

두 하천지점에서 관측된 강우-유출량 자료를 이용하여 설계 당시의 탱크모형의 매개변수를 검정하기 위하여 모형을 시험, 운영하였다. 일반적으로 탱크의 매개변수 결정은 계산된 홍수 수문곡선을 실측치와 비교해 가면서 매개변수 조정에 따른 수문곡선의 변화와 모의발생된 결과를 통계·분석방법으로 검정하면서 시행하는 것이 일반적이다. 급회 분석에서도 모의발생된 홍수수문곡선과 실측치의 변화 추이를 수문학적 통계방법의 일종인 RMS(residual mean square)값을 이용하여 분석하였다.

표 3. 모형의 매개변수 검정결과

지 점 별	홍수발생일	실 측 치		계 산 치		RMS	r
		T_p (hr)	Q_p (m ³ /s)	T_p (hr)	Q_p (m ³ /s)	(mm/hr)	(상관계수)
금 강 공주	'81/9/29~10/1	34	5,990	34	5,985	0.04	0.996
	'70/7/16~7/22	54	3,450	59	3,220	6.25	0.789
영산강 나주	'81/7/11~7/14	40	1,683	42	1,608	0.14	0.980
	'81/9/02~9/05	31	3,149	31	3,067	0.35	0.977

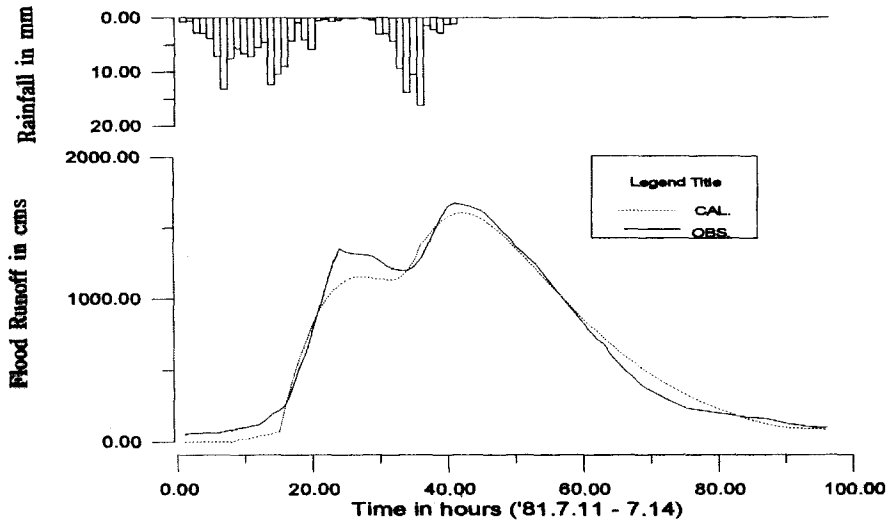


그림 6. 나주시점의 탱크모형 검정 결과(I)

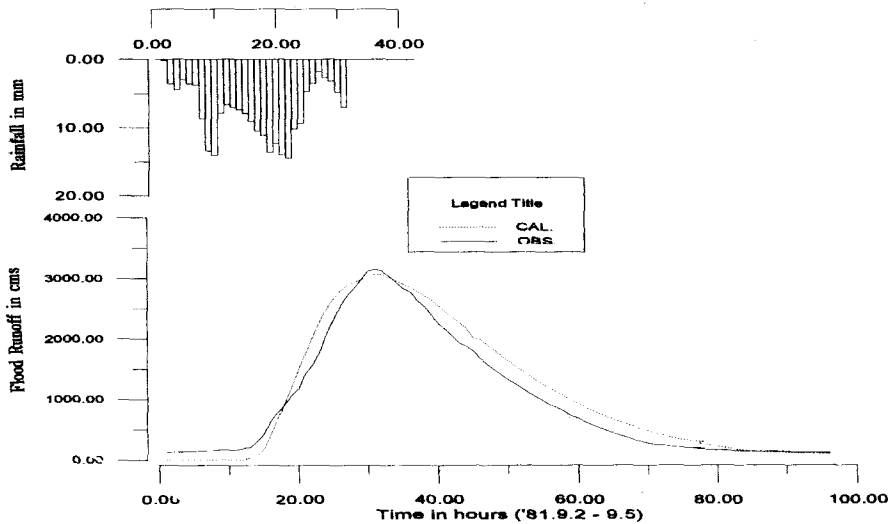


그림 7. 나주시점의 탱크모형 검정 결과(II)

표 3은 상기 두 관측지점에서 유도된 탱크모형의 매개변수를 이용하여 최종적으로 분석한 결과를 나타낸 것이다.

6. 분석결과 및 고찰

수차례의 시행착오를 거쳐 모형의 매개변수를 변경시켜 가면서 유도된 수문곡선을 검토하였다. 그 결과 영산강의 경우 설계 당시 모형의 매개변수를 이용하여 실측치와 근접한 홍수 수문곡선을 유도하는데 큰 어려움이 없었으나 금강의 경우 타당한 매개변수를 찾아내는

데 많은 시간을 소비하였다. 그림 6과 7은 영산강 나주 지점에서 유도된 홍수 수문곡선을 나타낸 것으로 7월 홍수의 경우 계산치가 실측치와 비교적 일치하였고 9월의 경우 실측치 곡선에서 영산강 상류에 설치된 4개 댐의 홍수조절량이 반영된 것으로 비교적 타당하게 나타났다. 그리고 그림 8과 9의 경우 금강의 공주지점에서 분석된 홍수수문곡선을 나타낸 것이다. 상기 그림에서 CAL.(1)의 경우 설계 당시의 매개변수에 10^{-1} 을 곱함으로써 모의발생된 수문곡선이며 CAL.(2)의 경우 대청댐 보고서의 매개변수 수정없이 모의발생된 결과치를

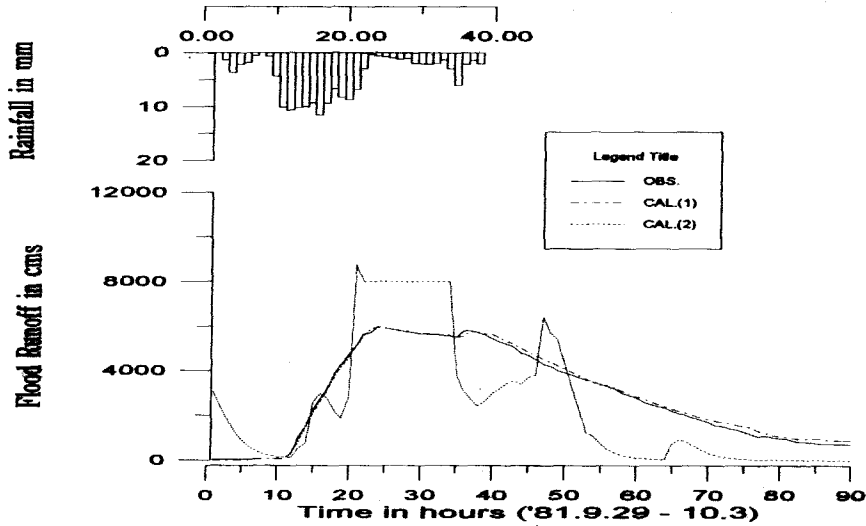


그림 8. 공주지점의 탱크모형 검정 결과(I)

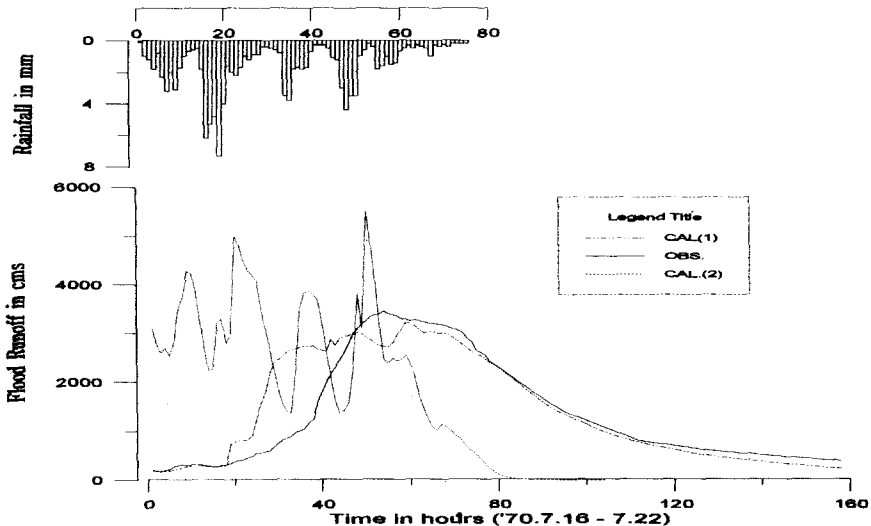


그림 9. 공주지점의 탱크모형 검정 결과(II)

나타낸 것이다. 그 결과 2건의 홍수 사상에서 공통적으로 매개변수가 수정된 계산치가 실측치와 비교적 일치하였으며 매개변수 수정없이 모의발생된 계산치는 실측치와 전혀 다른 결과를 나타내었다. 그러나 그림 9에 이용된 강우-유출량 자료는 금회 분석된 자료가 아닌 대청댐 타당성조사보고서에서 그대로 인용된 자료임으로 다소 부정확하여 매개변수 수정후 모의발생된 계산치(CAL.1의 경우)도 실측치와 비교할 때 약간의 차이는 있었다.

7. 결 론

본 연구는 우리나라의 두 하천 지점에서 개발된 탱크모형의 매개변수를 검정하고 설계 당시의 모형을 이용하여 홍수 수문곡선을 유도하여 실측치와 비교, 검토함으로써 향후 홍수예경보에 필요한 상류단 홍수 수문곡선의 모의발생에 이용할 수 있도록 하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 금강 공주지점의 경우 대청댐 타당성 조사보고서에서 제시된 모형의 매개변수에 10^{-1} 을 곱함으로써 실측치와 근접한 홍수 수문곡선을 유도할 수 있었고

(2) 영산강 나주지점의 경우 2단계 수문조사 보고서에서 제시된 모형의 매개변수를 그대로 이용하여 홍수 수문곡선을 모의발생 시킬 수 있음이 금회 실측치와 비교해 본 결과 판명되었다.

참 고 문 헌

- 건설부 (1992). 낙동강, 양산천 하천정비기본계획(보완). pp. 150-158.
- 건설부, 한국수자원개발공사 (1973). 대청다목적댐 타당성조사보고서. 일본공영.
- 농수산부, 농업진흥공사 (1975). 영산강유역개발 제 2 단계사업 수문조사보고서. 일본 산유주식회사.
- 농업진흥공사, (1973). 금강·평택지구 농업증답개발사업 수문조사보고서. 이스라엘 TAHAL.
- 이리지방국토관리청 (1993). 동진강, 만경강 하천정비 기본계획(보완). pp. 16-19.
- Sugawara, M. (1967). "The flood forecasting by a series storage type models." *Int. Symp., Floods and Their Computation*, P.Leningrad.
- 〈최종본 도착일 : 1997년 7월 1일〉