

# 한강유역에 대한 저류함수모형의 매개변수 산정에 관한 연구

## A Study on Parameter Computation of Storage Function Model for the Han River Basin

전용운\*, 정동국\*\*, 이배성\*\*\*, 전경수\*\*\*\*

Yong Woon Jeon, Dong Kug Jeong, Bae Sung Lee, Kyong Soo Jeon

### 요 지

본 연구에서는 저류함수모형을 이용하여 홍수유출분석을 좀더 정확하게 모의하기 위해 선행되어야 하는 유역에 대한 매개변수를 산정하였다. 매개변수를 산정함에 앞서 민감도분석을 실시하고, 연구 대상유역인 한강유역에 대하여 유역별 지형인자를 새로이 추출하였다. 저류함수모형의 중요 매개변수인 유출상수는 홍수직전유출고와의 관계를 이용하여 추정하였으며, 저류상수는 유역별 호우사상에 따른 최적의 저류상수식을 도출함으로써 호우의 특성 및 유역에 대한 물리적인 특성을 반영한 매개변수를 산정하였다. 재산정된 매개변수의 개선효과를 살펴보기 위해 KOWACO 모형과 한강홍수통제소 모형의 기존 매개변수를 이용한 모형 수행결과를 비교분석하였다. 분석결과 기존의 매개변수를 이용할 경우 한강홍수통제소 모형보다는 KOWACO 모형이 우수하며, 개선된 매개변수를 이용할 경우 관측 유출수문곡선에 좀더 근사한 모의결과를 나타내었다.

**핵심용어** : 저류함수모형, 홍수직전유출고, 저류상수

### 1. 서론

저류함수모형은 木村(1961)에 의해 제안되었으며, 지체개념이 도입된 저류함수와 유효강우의 개념을 이용한 강우-유출모형으로서 국내의 연구로 이정규 등(1995)은 퍼지제어에 의한 시변성 매개변수의 도입으로 유역저류함수모형을 개선하고자 하였고, 심순보 등(1992)은 최적화 기법을 이용하여 저류함수법의 매개변수를 자동으로 보정할 수 있는 방법에 관하여 연구하였다. 현재 우리나라 주요 하천 수계에서 홍수예경보는 1974년 한강홍수통제소가 개소된 이후 5대강 유역을 중심으로 운영되고 있으며, 홍수예보를 위한 모형으로는 저류함수모형이 사용되고 있다. 이모형은 계산절차가 간편하고 홍수유출의 비선형성을 고려해 주는 방법이므로 선형모형보다는 합리적인 것으로 알려져 있어 유역 및 하도에 공히 사용되고 있다. 이와 같은 저류함수모형은 효율적인 홍수예보를 위해 초기 구축단계보다는 그 동안 많은 개선방안이 제시되어 왔으나 지역화된 매개변수의 산정 문제가 여전히 요구되고 있는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 저류함수모형을 이용하여 홍수유출분석을 좀더 정확하게 모의하기 위해 유역에 대한 매개변수를 재산정하였다. 저류함수모형의 중요 매개변수인 유출상수는 홍수직전유출고와의 관계를 이용하여 추정하였으며, 저류상수는 유역별 호우사상에 따른 최적의 저류상수식을 도출함으로써 호우의 특성 및 유역에 대한 물리적인 특성을 반영한 매개변수를 산정하였다.

\* 정회원 · 성균관대학교 공과대학 토목환경공학과 공학석사 · E-mail : nicez@daum.net  
\*\* 정회원 · 한남대학교 공과대학 토목환경공학과 교수 · E-mail : dkjeong@hannam.ac.kr  
\*\*\* 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 수자원시스템연구소 위촉연구원 · E-mail : ce407@daum.net  
\*\*\*\* 정회원 · 성균관대학교 공과대학 토목환경공학과 교수 · E-mail : ksjun@yrim.skku.ac.kr

## 2. 저류함수 모형의 기본 이론

유역에 대한 운동방정식과 연속방정식, 지체효과를 기술하면 다음과 같다.

$$S_j = KQ^P(t + T_l) \quad (1)$$

$$\frac{1}{3.6} f r_{ave} \cdot A - Q(t + T_l) = \frac{dS_j}{dt} \quad (2)$$

여기서,  $f$ 는 평균유입계수(혹은 유입률)이며,  $r_{ave}$ 는 시간당 유역평균강우량(mm/hr),  $A$ 는 유역면적( $km^2$ ),  $Q(t + T_l)$ 은 유역의 지체시간  $T_l$ 을 고려한 유역으로부터의 직접유출량( $m^3/sec$ ),  $S_j$ 은 유역 내의 실제 저류량( $m^3$ )이다.

유역의 유출량을 계산하기 위해서는 유입계수  $f$ 를 시간에 따라 변경시킴으로써 유효우량을 산정하여야 한다. 여기서  $f$ 는 강우량  $r_{ave}$ 에 대한 계수가 아니라 유역면적  $A$ 에 대한 계수를 뜻한다. 그림 1과 같이 유출점 이후 강우는 1차유출 면적과 전유출면적의 비  $f_1$ (1차 유출률) 비율로 직접유출에 기여하는 것으로 가정하므로  $f=f_1$ 이 된다. 포화점에 도달한 후의 유출면적은 전유출면적에 접근하므로  $f=1$ 로 가정하고 이를 포화유출률로 정의한다. 즉 포화우량에 도달하면 침투역에서도 유출이 일어난다. 유출역과 침투역으로부터 유출계산은 전체 홍수기간에 대하여 분리시켜서 수행되며 유출고를 사용하여 다음과 같이 정리된다.

$$q_1 = f_1 \cdot r_{ave} \quad \sum r_{ave,i}(t) \leq R_{sa} \quad (3)$$

$$q_{sa} = f_1 \cdot r_{ave} + (1 - f_1) \cdot r_{ave} \quad \sum r_{ave,i}(t) > R_{sa} \quad (4)$$

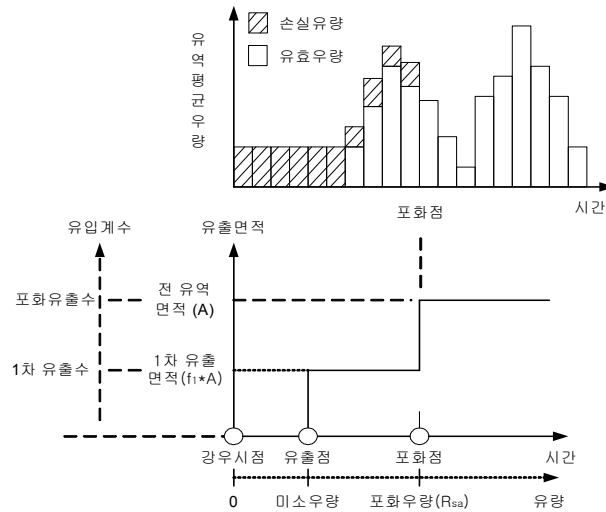


그림 1. 저류함수 모형의 수문학적 손실

유역의 총유출량  $Q_T(t)$  ( $m^3/sec$ )는  $Q(t)$ 에 기저유출  $Q_i$ 를 더하여 다음과 같이 된다.

$$Q_T(t) = Q(t) + Q_i \quad (5)$$

$$\frac{A}{3.6} [f_1 \cdot r_{ave} + (1-f_1) \cdot r_{ave}] + Q_i - Q(t+T_p) = \frac{dS_i}{dt} \quad (6)$$

### 3. 매개변수의 산정절차

본 연구에서 수행한 매개변수의 산정절차는 다음과 같다(그림 2). 첫 번째, 과거의 홍수자료로부터 강우사상을 추출하여 유역별 기저유량을 결정하고, 홍수직전 유출고( $q_A$ ) 산정하였다. 두 번째, 유역의 유출상수( $f_1$ ,  $R_{sa}$ )를 산정하기 위해서는 저류상수( $K$ ,  $P$ ,  $T_p$ )는 고정시킨 상태에서 유출상수  $f_1$ 과  $R_{sa}$ 만을 변화시켜 계산 및 관측 유출수문곡선과의 오차가 가장 적은 유출상수를 분석대상 호우의 유출상수로 결정하였으며, 이를 바탕으로 유출상수와 홍수직전 유출고와의 관계식을 유도하였다. 세 번째, 유역의 저류상수( $K$ ,  $P$ )산정은 유도된 유출상수와 홍수직전 유출고와의 관계식으로부터 분석대상 호우에 대한 유출상수 고정시킨 상태에서 분석대상 호우별로 유역의 저류상수를 추정하고, 유역의 특성을 고려한 매개변수 산정식을 개발하였다. 마지막으로, 개선된 매개변수를 이용하여 강우-유출분석과 기존의 모형과 비교 검증 실시하였다.

### 4. 매개변수 산정 및 적용

본 연구의 대상 지역으로는 한강유역(그림 3)을 선정하였으며, 유출계산모형의 구성은 상류구간으로 소양강댐(유역면적 : 2703 km<sup>2</sup>), 충주댐(유역면적 : 6648 km<sup>2</sup>), 형성댐 유역(유역면적 : 209 km<sup>2</sup>)을 그 밖의 구간을 하류구간으로 설정하였다. 상류구간의 소양강댐 유역은 9개의 소유역과 7개의 하도구간으로, 충주댐 유역은 22개의 소유역과 15개의 하도구간, 형성댐 유역은 3개의 소유역과 1개의 하도구간으로 구성하였으며, 하류구간은 26개 소유역, 31개 하도 구간으로 구성하였다. 홍수분석 대상기간은 1997년 ~ 2004년까지이다.

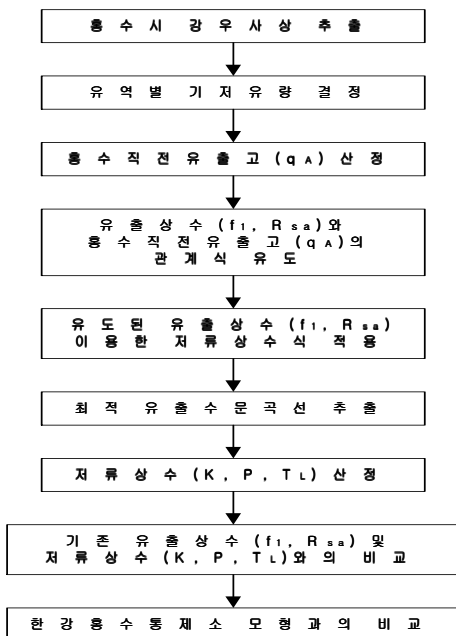


그림 2. 매개변수 산정 흐름도

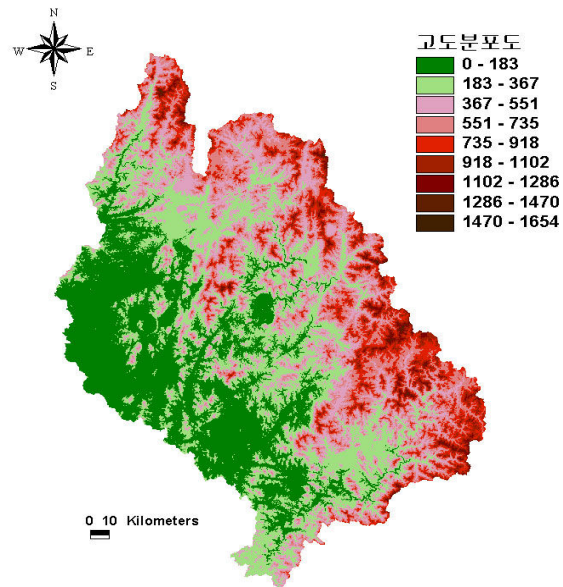


그림 3. 한강 유역 고도분포도(임진강 포함)

## 4.2 유역의 유출상수( $f_1$ , $R_{sa}$ ) 산정

유역의 유출상수를 결정하는 방법으로는  $f_1$ 값을 가정하여  $R_{sa}$ 를 계산하는 방법, 누가곡선에 의한 방법, 그리고 과거 홍수의 총강우량, 총유출량도로부터 추정하는 방법 등이 있다. 그러나 유출상수를 위와 같은 방법 등으로 결정할 경우, 과거의 한정된 자료로부터 전기무강우일수, 전기총강우량 및 전기강우강도 등 유역의 초기 토양습윤상태와 유출상수간의 일정한 관계를 나타내기가 용이하지 않을 뿐만 아니라 중유역별로 유역형태를 대표하는데 따른 문제점을 내포하고 있다. 따라서 본 연구에서는 유출비(=Q/R, Q:총유출량, R:총강우량)와 홍수직전 유출량( $Q_A$ ) 및 전기강우등과의 관계로부터 유출상수( $f_1$ ,  $R_{sa}$ )를 산정하였다. 그러나, 전기강우와 유출상수의 관련성을 찾을 수 없었으므로, 여기서는 홍수직전 유출고( $q_A = Q_A/A$ )와 유출상수와의 관계로부터 유출상수를 추정하였다.

모형의 유출상수 산정하기 위해 그림 4와 같이 유출상수와 홍수직전 유출고간의 관계를 이용하여 다음 식 (7) 및 (8)과 같은 회귀식을 산출하였다.

$$f_1 = 1.99 q_A^{0.449}, r^2 = 0.914 \quad (7)$$

$$R_{sa} = 90.123 e^{-55.037 q_A^{1.319}}, r^2 = 0.914 \quad (8)$$

여기서,  $q_A$ ( $m^3/sec/km^2$ )는 홍수직전 유출고이다.

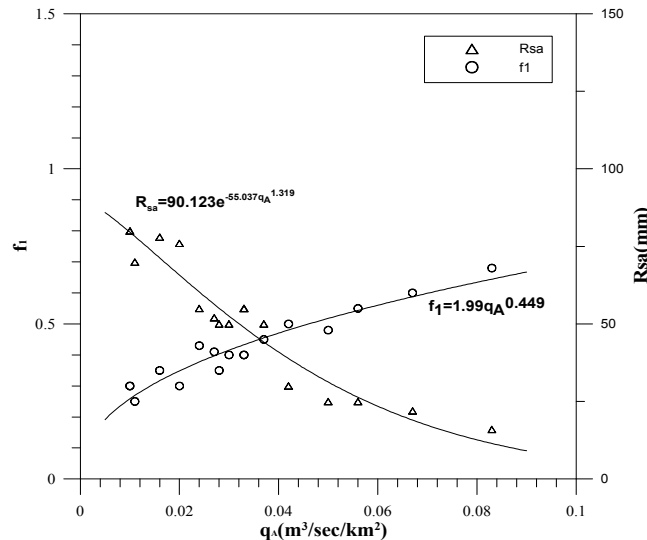


그림 4. 유역 유출상수의 회귀분석 결과

## 4.3 유역의 저류상수( $K$ , $P$ , $T$ ) 산정

저류상수( $K$ ,  $P$ ,  $T$ )는 유역의 특성을 반영하는 것으로 유역특성 인자와 상관시켜 추정하는 것이 바람직할 것이다. 기존 국내 저류함수모형의 저류상수는 이근천식과 같은 경험공식을 이용하여 추정하고 있으며, 특히, 이근천식의 유역경사를 유역경사가 아닌 주하천의 평균경사를 사용하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 앞 절에서 산정한 유출상수를 고정값으로 하여 유역의 저류상수  $K$ ,  $P$ 를 추정하였으며, 추정된 매개변수에 대한 식을 새로이 유도하였다. 새로이 유도된 저류상수식은 다음 식 (9), (10)과 같다.

$$K = 51.375 I^{-0.1308} \quad (9)$$

$$P = 0.155 I^{-0.135} \quad (10)$$

여기서,  $I$ 는 유역경사이다.

#### 4.4 개선된 매개변수를 이용한 유출분석

본 연구에서 재산정한 유출상수와 저류상수를 이용하여 소양강댐을 대상으로 2004년 7월 10일 ~ 7월 9일 상황에 대하여 유출분석을 실시하였으며 분석결과는 그림 5와 같다. 그림 5에 재산정된 매개변수의 개선 효과를 살펴보기 위해 KOWACO 모형과 한강홍수통제소 모형의 기존 매개변수(유역상수  $f_1 = 0.50$ ,  $R_{sa} = 20.0$ 으로, 저류상수는 이근천식을 이용)를 이용한 유출분석결과를 함께 도시하였다. 그림 5에서 보는 바와 같이 기존의 매개변수를 이용할 경우 한강홍수통제소 모형보다는 KOWACO 모형이 우수하며, 개선된 매개변수를 이용할 경우 관측 유출수문곡선에 좀더 근사한 모의결과를 나타내었다.

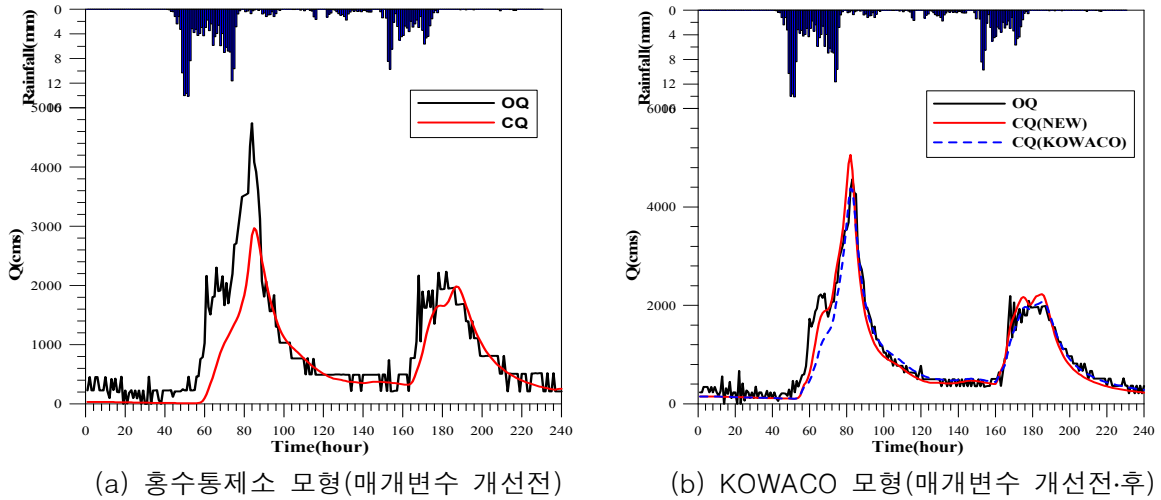


그림 5. 소양강댐 유출수문곡선(2004.07.10 ~ 07.19)

#### 5. 결론

본 연구에서는 저류함수모형을 이용한 강우-유출 분석의 정확성을 높이기 위해 저류함수모형의 매개변수를 재산정하였다. 모형의 매개변수 산정에 앞서 각 매개변수의 민감도 분석을 실시하였으며, 본 연구의 대상 유역인 한강 유역에 대하여 과거 유출 자료로부터 유역의 유출상수  $f_1$ ,  $R_{sa}$ 를 홍수직전유출고와의 관계를 이용하여 추정하였으며, 저류상수는 유역별 호우사상에 따른 최적의 저류상수식을 도출함으로써 호우의 특성 및 유역에 대한 물리적인 특성을 반영한 매개변수를 산정하였다. 재산정된 매개변수의 개선효과를 살펴보기 위해 KOWACO 모형과 한강홍수통제소 모형의 기존 매개변수를 이용한 모형 수행결과를 비교분석하였다. 분석결과 기존의 매개변수를 이용할 경우 한강홍수통제소 모형보다는 KOWACO 모형이 우수하며, 개선된 매개변수를 이용할 경우 관측 유출수문곡선에 좀더 근사한 모의결과를 나타내었다.

## 참 고 문 헌

1. 심순보, 김순구, 고석구(1992). 최적화 기법에 의한 저류함수 유출모형의 자동보정, 대한토목학회 논문집, 제12권, 제3호, pp. 127-137.
2. 이정규, 이창해, 강창구(1995). 하도홍수추적에 퍼지추론의 적용, 대한토목학회 학술발표회 논문집(II), pp. 91-94.
3. 木村俊晃, Toshimitsu (1961). 貯留函數法에 의한 洪水流出追跡法. 日本建設省 土木研究所