

## SCS 초과우량산정방법을 이용한 저류함수법 적용

### Application of Storage Function Method with SCS Method

김 태 균\* / 윤 강 훈\*\*

Kim, Taegyun / Yoon, Kanghoon

#### Abstract

It has been operated since 1974, recently, the flood forecasting and warning system is applied in almost all the rivers in Korea, and the Storage Function Method (SFM) is used for flood routing. The SFM which was presented by Toshimitsu Kimura (1961) routes floods in channels and basins with the storage function as the basic equation. A watershed is divided into two zone, runoff and percolation area and runoff from runoff area is occurred when cumulated rainfall is not exceed saturation point, but exceed runoff is occurred from percolation area, too. Runoff area is given and not changed, runoff ratio is constant. In routing process, runoff from runoff and percolation area is routed separately with nonlinear conceptual reservoir having the same characteristics and it is unreasonable assumption. A modified SFM is proposed with storage function and continuity equation which has no assumption for routing process and effective rainfall is calculated by SCS Method. For Wi-stream, comparison of Kimura and the modified SFM is conducted, and it could be seen that the modified SFM is more improvable and applicable method easily by reducing the parameters.

**keywords** : flood forecasting and warning, storage function method, SCS method

#### 요 지

1974년 한강홍수예보시스템을 구축한 이후로, 저류함수법을 근간으로 하는 홍수예보시스템이 주요하천을 대상으로 운영되고 있다. 1961년 木村俊晃에 의하여 제안된 저류함수법은 저류함수를 기본식으로 이용하고 있다. 저류함수법에서는 유역을 유출역과 침투역으로 구분하고, 누가우량이 포화우량을 초과하기 전까지는 유출역에서만 유출이 발생하고, 포화우량을 초과한 후부터 침투역에서도 유출이 발생하는 것으로 가정하였고, 이때 유출역의 면적이 일정하므로 유출률은 일정한 것으로 가정하였다. 또한 유출역과 침투역의 유출량을 분리하여 계산하며, 이는 비선형저수지의 특성을 고려하면 불합리하다. 본 연구에서는 저류방정식과 연속방정식을 이용한 수정된 저류함수법을 제시하였으며, 유효우량은 SCS 초과우량산정방법을 이용하였다. 낙동강유역의 위천을 대상으로 수정된 저류함수법을 적용하였으며, 木村俊晃 저류함수법에 비하여 침투홍수량 산정에 개선된 결과를 보였으며, 매개변수의 감소로 적용성을 개선하였다.

**핵심용어** : 홍수예보, 저류함수법, SCS 초과우량산정방법

\* 진주산업대학교 조경학과 부교수

Associate Prof., Dept. of Landscape Architecture, Jinju National Univ., Jinju 660-758, Korea  
(e-mail: tgkim@jinju.ac.kr)

\*\* 한국건설기술연구원 수자원연구부 책임연구원

Research Fellow, Water Resources Research Dept., Korea Institute of Construction Tech., Ilsan, 411-712, Korea,  
(e-mail: khyoon@kict.re.kr)

## 1. 서 론

우리나라의 홍수예보시스템은 1972(1차)~1977(5차)년 사이에 이루어진 일본국제협력사업단(JICA)의 홍수예보 조사에 의하여 처음으로 소개되었다(日本國際協力事業團, 1977). JICA에서는 유출모형으로 단위도법, Tank Model 등을 검토하였으며, 최종적으로 저류함수법(Storage Function Method)을 채택하였다. JICA에서 저류함수법에 의한 홍수예보시스템을 제안한 이후, 1974년 7월 한강홍수통제소를 시작으로 5대강 유역과 삼교천 등의 중소규모 하천(건설교통부, 1998) 및 중량천, 지석천 등 주요 지천까지 확대되었으며(건설교통부, 1997), 산업화, 도시화에 따른 유출특성의 변화를 반영하기 위하여 모형의 각종 매개변수를 오늘날까지 조정하고 있다.

저류함수법에 대한 연구는 주로 매개변수 추정에 치중되었는데, 남궁달(1985)는 저류함수모형과 운동파모형의 유사성으로부터 유역모형의 매개변수를 추정하였다. 윤재홍 등(1991)은 최적화 기법에 의한 매개변수 자동보정 연구를, 이정규와 이창해(1996)는 Brent 방법을 이용하여 최적 매개변수를 산정하였고, 박봉진은 유전자 알고리즘을, 김한섭과 이정규(2000)는 퍼지이론을 적용하여 시간에 따른 유역변동특성을 고려하였다. 송재현 등(2006a, 2006b)에서는 시행착오법, Rosenbrock방법 등으로 매개변수를 산정한 후 이를 비교하였고, 이들 변수의 민감도를 평가하였다. 한편 김종래 등(2006)은 1967년 Prasad가 제안한 Dynamic Effect를 고려한 저류함수를 이용한 유출모형의 최적매개변수를 추정하기 위한 방법을 모색하였다.

木村俊晃(1961) 저류함수법은 유역유출모형, 하도유출모형으로 나누어지는데, 저류방정식과 물수지방정식(연속방정식)을 이용하여 풀이하며, 유역유출모형은 유역을 유출역과 침투역으로 구분하고, 유출역과 침투역의 유출을 유역의 포화우량을 기준으로 구분하여 산정한다.

저류함수법의 유역유출모형에서 유역을 유출역과 침투역으로 구분하여 유출량을 산정하는 방법은 계산결과로 산정되는 유효우량이 Horton, SCS 초과우량산정방법 등의 비선형 침투능곡선과(Chow et al., 1988) 개념적, 결과적으로 다를 뿐 아니라, 유출역과 침투역으로 분리하여 계산된 유출량은 이론적 근거가 부족하다. 따라서 저류함수와 물수지방정식만을 이용한 유역유출모형을 개발하고자 한다.

## 2. 저류함수법과 수정된 저류함수법

### 2.1 저류함수법

木村俊晃(1961)에 의하여 제안된 저류함수법(이하 기존 저류함수법)은 강이나 하천에서의 홍수류의 운동방정식에 유역이나 하도에서의 유출량과 저류량의 관계를 표시하는 저류함수를 대입하여 홍수류의 연속방정식을 풀이하므로서 강우-유출관계를 모의한다.

홍수유출을 Manning식으로 나타낼 수 있는 지표면 유출이라 가정하면 유역이나 어떤 하도구간의 저류량  $S$ 는 유출량  $O$ 의 멱함수로 표시할 수 있다.

$$S_t = KO_t^p \quad (1)$$

여기서  $K, P$ 는 유역 또는 하도구간에 대한 상수이며, Eq. (1)은 홍수류의 운동방정식이다.

유역에 대한 연속방정식은 유역의 물수지방정식으로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{1}{3.6} fr_{ave}A - O_t = \frac{dS_t}{dt} \quad (2)$$

여기서  $f$ 는 유역의 평균유입계수(유입률),  $r_{ave}$ 는 유역평균강우량(mm/hr),  $A$ 는 유역면적(km<sup>2</sup>),  $O_t(t) = O(t + T_t)$ 로 지체시간을 고려한 직접유출량(m<sup>3</sup>/sec)이고,  $S_t$ 는 실저류량(m<sup>3</sup>),  $T_t$ 은 지체시간이다. 한편 하도구간에 대한 연속방정식은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\left( \sum_{j=1}^n f_j I_j \right) - O_t = \frac{dS_t}{dt} \quad (3)$$

여기서  $f_j$ 는 유역 및 지류역( $j$ )으로부터 하도로의 유입계수,  $I_j$ 는 유역 및 지류역으로부터 하도로의 유입량 혹은 하도구간의 상류단으로의 유입량이다.

유역유출모형과 하도유출모형의  $K, P$ 는 과거자료를 이용하여 구할 수 있으며,  $S_t$ 는  $O_t$ 의 멱함수로 표시되므로,  $O_t$ 은 유역유출모형에서는 평균강우량  $r_{ave}$ 을 이용하여, 하도유출모형에서는 하도 유입량  $I_j$ 를 이용하여 구할 수 있다(윤용남, 2003).

## 2.2 유역유출모형

유역유출모형을 실제 계산할 때에는 Eqs. (1) and (2)를 직접 풀이하지 않고, 유역 면적환산치  $fA/3.6$ 를 나누어 아래의 Eqs. (4) and (5)와 같이 변형하여 계산한다.

$$s_l = kq_l^p \quad (4)$$

$$r_{ave} - q_l = \frac{ds_l}{dt} \quad (5)$$

여기서  $s_l$ 은 단위저류량(mm),  $q_l$ 은 단위유출고(mm/hr),  $r_{ave}$ 는 유역평균강우량(mm/hr)이다.  $k$ ,  $p$ 는 유역의 저류상수로서 기왕의 홍수사상으로부터 단위유입량과 단위유출량을 이용하여 산정할 수 있다.

### 2.2.1 저류함수법의 유출구조

#### (1) 유역유출률

저류함수법의 유역유출모형에서는 유역을 유출역과 침투역으로 구분하고, 유출역과 침투역이 홍수가 끝날 때까지 유역내 병존한다고 가정하였으며, 유출역과 침투역의 유출률은 Fig. 1과 같다고 가정하였다.

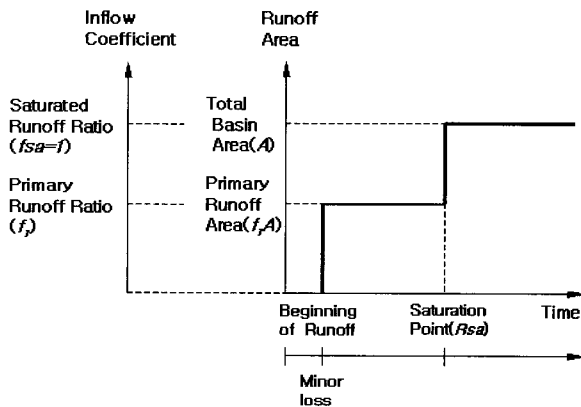


Fig. 1. Runoff Coefficient of Kimura Storage Function Method

Fig. 1에서 누가우량이 유역포화우량(Saturation Point,  $R_{sa}$ )보다 작을 때에는, 유역의 유출률은 1차유출률(Primary Runoff Ratio,  $f_1 = A_{\text{유출역}}/A_{\text{유역}}$ )이다. 한편 누가우량이 유역포화우량을 초과할 때 유출률은 포화유출률(Saturated Runoff Ratio,  $f_{sa}$ )이며, 木村俊晃(1961)은  $f_{sa} = 1$ 로 가정하였다.

#### (2) 홍수추적

木村俊晃(1961)은 홍수추적과정을 유역포화우량,  $R_{sa}$ 를 기준으로 누가우량이 유역포화우량을 초과하지 않을 경우와 초과할 경우로 구분하여 비선형저수지에 의한 유역의 홍수추적을 시행하였으며, Eqs. (6) and (7)에 나타나 있다.

$$\text{If } r_{cum} < R_{sa}, \quad r_{ave} - q_l = \frac{ds_l}{dt}$$

$$O = \frac{1}{3.6} f_1 A q_l + O_i \quad (6)$$

or

$$\text{If } r_{cum} \geq R_{sa}, \quad q_l = f_1 q_l + (1 - f_1) f_{sa} q_{sa,l}$$

$$O = \frac{A}{3.6} [f_1 q_l + (1 - f_1) f_{sa} q_{sa,l}] + O_i \quad (7)$$

Eq. (6)의 홍수절차를 개념적으로 살펴보면,  $r_{cum} < R_{sa}$  경우, 평균강우량을 Eqs. (4) and (5)를 이용하여 풀이하고, 계산된 단위면적당 유출고,  $q_l$ 을 Eq. (6)에 대입하여 유출량,  $O_l$ 을 산정하게 된다. 이때 Eqs. (4) and (5)의 계산에 이용된  $r_{ave}$ 는 유효우량이 아니라, 유역의 평균강우량이고, 유역환산계수의 유역평균유입계수( $f$ )를 "1"로 가정하였다. 즉 홍수추적과정에서 모형의 입력력인 강우량은 손실량을 전혀 고려하지 않고 홍수추적을 시행하여 단위면적당 유출고를 산정한 후, 유역의 1차유출률( $f_1$ )에 해당하는 유출량만을 유출로 계산하는 것이다.

$r_{cum} \geq R_{sa}$  경우, 유출역의 유출고와 침투역의 유출고를 분리하여 산정한다. 먼저 유출역의 유출고는 Eq. (6)을 이용하여 산정한다( $f_1 q_l$ ). 다음으로 침투역은  $r_{cum} \geq R_{sa}$  이후의 강우량에 대하여 Eqs. (4) and (5)를 이용하여 유출고를 산정하고, 유출역의 유출량( $f_1 q_l$ )을 감한( $(1 - f_1) f_{sa} q_{sa,l}$ ) 후, Eq. (7)로부터 유출량을 산정한다. 여기서 전술한 바와 같이  $f_{sa} = 1$ 이다.

#### (3) 저류함수법의 유효우량

위에서 언급한 바와같이, 기존 저류함수법에는 유효우량을 산정하지 않고 유역의 홍수추적을 실시하며, 손실량에 대한 고려는 유출역과 침투역을 구분하여 두 구역 공히 유출률은 "1"이나 유출역은 강우초기부터 유출이 발생하고, 침투역은 유역의 누가우량이 유역포화우량,  $R_{sa}$ 를 초과한 이후부터 유출되는 것으로 가정하여

손실량을 고려하였다. 따라서 저류함수법에서 유효우량을 직접 산정할 수 있는 방법은 없으나, 유효우량이란 직접유출량이 되는 강우량이므로(Chow et al., 1988), 저류함수법에서 제안한 유출구조에 따라 Eqs. (6) and (7)에서 구한 유출고( $q_i, q_i'$ )는 직접유출고이며, 이 직접유출고를 유발한 강우량을 유효우량으로 간주할 수 있으며, 유출역과 침투역의 유효우량은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{If } r_{cum} < R_{sa}, r_{eff} = f_1 r_{ave} \quad (8)$$

or

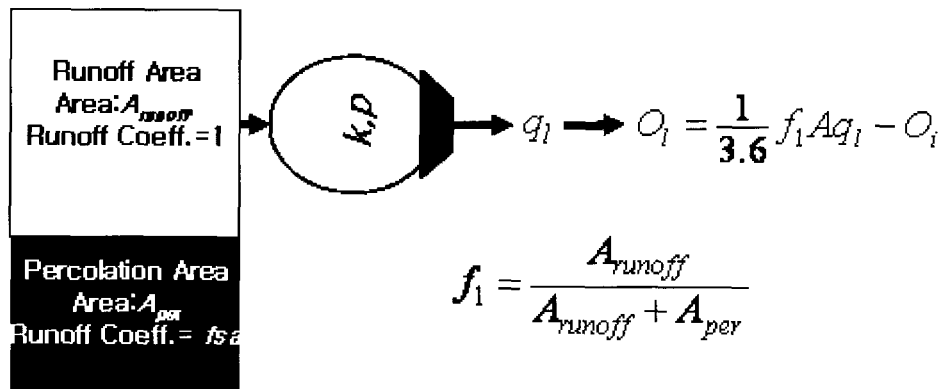
$$\text{If } r_{cum} \geq R_{sa},$$

$$r_{eff} = f_1 r_{ave} + (1 - f_1) r_{ave} = r_{ave} \quad (9)$$

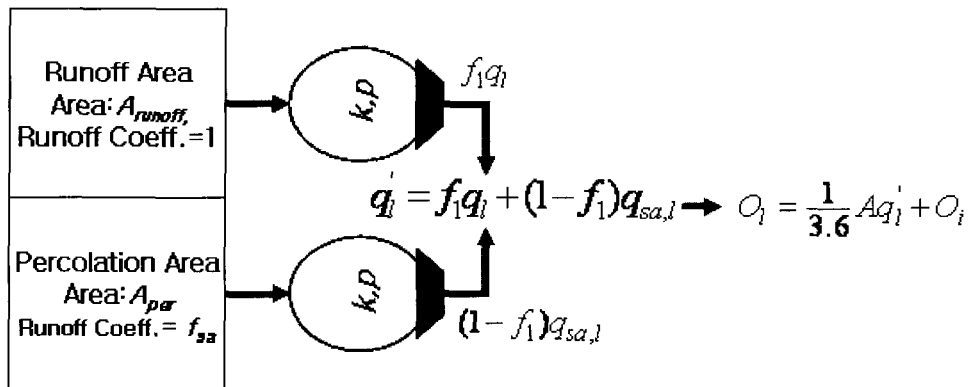
### 2.3 저류함수법의 문제점

#### (1) 유역 유출률

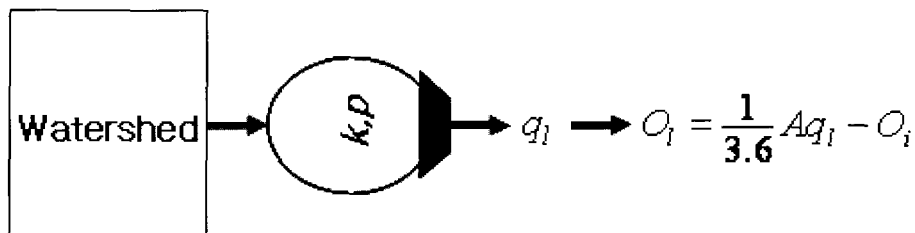
기존 저류함수법에서는 유역을 유출역과 침투역으로 구분하였으며, 두 지역의 유출률을 “1”로 가정하였으며, 유출구조는 Fig. 2의 (a)와 같다. 유출량을 유출고로 변환하여 산정하기 위하여 Eqs. (1) and (2)에 유역유출변환계수  $fA/3.6$ 를 나누어 Eqs. (4) and (5)를 유도하였다. 여기서 유역의 유출률,  $f$ 가 일정한 것으로 가정하지 않을 경우, 유출률은 침투률의 변화에 따라 변하므로 Eqs. (1) and (2)로부터 Eqs. (4) and (5)를 유도할 수 없다.



(a) Runoff Structure from Runoff Area of SFM ( $r_{cum} < R_{sa}$ )



(b) Runoff Structure from basin Area of SFM ( $r_{cum} \geq R_{sa}$ )



(c) Runoff Structure of Modified SFM

Fig. 2. Conceptual Structure of SMF

한편 Hortaon 침투이론에서는 종기침투능을 정의하여 단일 호우사상에서 누가강우량이 아무리 증가하더라도 일정량이 침투되어 유출률은 “1”이 되지 않으며, SCS 초과우량산정방법의 초과우량산정식은 수학적으로 유출률이 “1”이 되지 않는다.

(2) 일정유출율(침투율)

유효우량산정을 위한 대표적인 방법인 SCS 초과우량산정방법은 누가우량우량이 증가함에 따라 침투율이 점진적으로 감소한다. 대부분의 침투이론은 누가우량이 증가하면 침투율은 감소하고, 유출율은 증가한다. 기존 저류함수법에서는 누가우량이 유역포화우량,  $R_{sa}$ 를 초과하기 전까지 유역에 내린 강우량에 대하여 Eq. (8)에서와 같이 일정한 비율로 유출이 일어난다. 즉 시간당 강우량이 많고 적음에 관계없이 일정한 비율이 침투하는 것으로 가정하였다.

(3) 2개의 비선형저수지에 의한 유출구조

기존 저류함수법에서는 유역의 누가강우량이  $R_{sa}$ 를 초과하지 않을 때에는 Fig. 2의 (a)에서 상부 유출역의 비선형저수지로부터 지표면유출이 유입하는 것으로 가정하였다. 누가강우량이  $R_{sa}$ 를 초과할 경우 침투역의 유출이 시작되고, Eq. (7)과 Fig. 2의 (b)에 나타나 있는 것과 같이 유출역의 유출량은 같은 방법으로 산정되고, 침투역의 유출량이 유출특성이 같은 다른 1개의 비선형저수지로 유입하는 것으로 가정하였다. 예를 들면  $f_1 = 0.67$ 인 유역에 누가우량이  $R_{sa}$ 를 초과한 시점에 15 mm/hr의 강우가 내리면, 10 mm/hr(= 15 × 0.67)은 유출역(Eq. (7)에서  $f_1 q_l$ 로 표시)을, 나머지 강우량 5 mm는 침투역을 통하여 유출(Eq. (7)에서  $(1 - f_1)q_{sa,t}$ 로 표시)되며, 각각의 유출량에 대하여 Eqs. (4) and (5)를 차분법으로 풀이한 후, Eq. (7)을 이용하여 유출량을 산정한다. 이와 같은 가정은 유역에 특성이 같은 2개의 비선형저수지가  $R_{sa}$ 를 기준으로 독립적으로 작용하는 것이다.

2.4 저류함수법의 수정

기존 저류함수법의 가정은 유출률(침투률)을 이용한 유효우량산정 및 유출구조에 있어 모순을 포함하고 있으므로, 모순을 수정한 합리적인 모형을 제시하고자 하며, 수정된 저류함수법의 유역유출모형의 구조는 다음과 같다.

1) 유역유출모형의 유출량은 유효우량으로부터 산정

하며, 이때의 유출률( $f$ )은 “1”이다.

- 2) 유역출구에 1개의 비선형저수지(저류상수 :  $k, p$ )가 위치하고 있어, 유출량이 비선형 저수지를 통하여 유출한다.
- 3) 수정된 저류함수법의 계산절차는 기존 저류함수법과 동일하나, 수정된 저류함수법의 물수지방정식을 유효우량을 이용하여 다음과 같이 나타낸다.

$$r_{eff} - q_l = \frac{ds_l}{dt} \tag{8}$$

여기서  $r_{eff}$ (mm/hr)는 유역의 유효우량이며, 수정된 저류함수법과 기존 저류함수법의 유출구조의 차이는 다음과 같다.

- 1) 유역포화우량,  $R_{sa}$ 를 초과하지 않을 경우( $r_{cum} < R_{sa}$ ), 기존 저류함수법은 Fig. 2(a)의 유출구조를 가지며, 수정된 저류함수법은 Fig. 2(c)의 유출구조를 가진다. 두 모형의 유출구조는 동일하며, 차이는 강우량을 입력자료로 한 후 유출량 산정시 유출률을 고려하는 방법(기존 저류함수법)과 유효우량을 산정하여 모형의 입력으로 사용하는 방법(수정된 저류함수법)이다.
- 2) 유역포화우량,  $R_{sa}$ 를 초과할 경우( $r_{cum} \geq R_{sa}$ ), 기존 저류함수법은 Fig. 2(b)의 유출구조를 가지며, 수정된 저류함수법은 Fig. 2(c)의 유출구조를 가진다. 기존 저류함수법에서는 2개의 비선형저수지를 이용하여 유출량을 계산하나, 수정된 저류함수법에서는 1개의 비선형저수지를 이용하여 유출계산을 시행한다.

수정된 저류함수법은 관측된 강우량으로부터 유효우량을 산정하여 홍수추적을 하므로, 기존 저류함수법의  $f_{sa} = 1$ 이라는 모순된 가정을 수정할 수 있다. 또 2.3절의 2)에서 지적한 바와 같이, 기존 저류함수법에서는 강우량에 대한 일정한 비율( $f_1 r_{ave}$ )만이 직접유출에 관여하는 우량(유효우량)이 되는 것으로 가정하였으나, 현재 가장 많이 이용되고 있는 SCS 초과우량산정방법을 이용할 경우 이와 같은 모순을 바로 잡을 수 있다.

3. 대상유역 및 대상호우

3.1 대상유역

본 연구의 대상유역으로는 낙동강의 지류인 위천을

선정하였으며, Fig. 3에 나타나 있다. 위천유역에는 6개의 T/M 우량관측소와 2개의 T/M수위관측소가 있다. 유역평균강우량은 Thiessen method를 이용하여 계산된다.

낙동강홍수예보시스템(건설교통부, 2004)에서 위천유역은 용곡수위표를 출구로 Fig. 3과 같이 3개의 소유역과 2개의 하도구간으로 구분되어지며 소유역의 특성 및 저류함수법의 각종 매개변수가 Table 1에 나타나 있다. Table 1에서 수정된 저류함수법의 유효우량은 SCS초과우량산정 방법을 이용하였으며,  $CN$ 은 선행토양함수

조건 AMC-III에 해당하는 값이다(건설교통부, 2004). 위천유역에 대한 홍수추적을 위한 모식도는 Fig. 4와 같다.

### 3.2 대상호우

낙동강 홍수예보시스템은 2000년에 홍수추적모형의 매개변수를 새로이 조정하였으므로, 2000년 이후의 호우사상을 대상으로 기존 저류함수법과 수정된 저류함수법을 비교하고자 하며, 대상호우는 Table 2와 같다.

Table 2에서 무성수위표지점과 용곡수위표지점의 포

Table 1. Characteristics of Subbasin and Channel of Wi Stream

Wi Stream		Musung (1510)	Ssangue (1410)	Younggok (1520)	Channel A	Channel B	
Area(km <sup>2</sup> )		471.7	501.0	341.5			
Channel Length(km)		42.2	41.9	43.3	42.5	16.8	
Area Slope		0.01099	0.0067	0.0007	0.00040	0.00040	
SFM's Parameter		$k$	30.625	26.46	13.402	161.083	63.572
		$p$	0.506	0.568	0.967	0.600	0.600
		$T_l$	1.827	1.808	1.881	3.510	1.385
Effective Rainfall	SFM	$f_1$	0.45	0.45	0.47		
		$f_{sa}$	1.00	1.00	1.00		
		$R_{sa}$	109.9	118.8	104.2		
	SCS	$CN$	90.01	89.97	90.91		



Fig. 3. Wi Stream

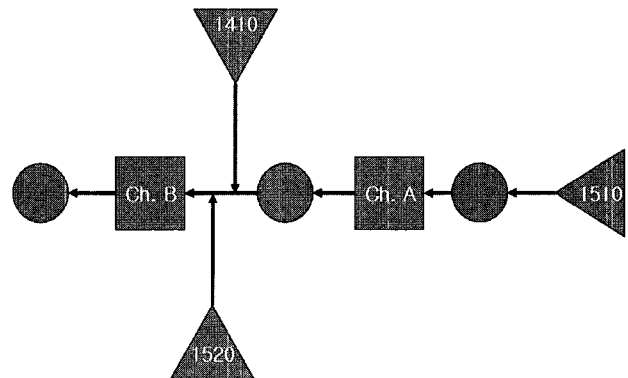


Fig. 4. Flood Routing Flow Chart

Table 2. Rainfall-Runoff Event for Test Run

Event	Begin	End	Cumulated Rainfall					
			Musung			Younggok		
			Rainfall	Eff. Rainfall		Rainfall	Eff. Rainfall	
				SFM	MSFM		SFM	MSFM
#1	2004/08/17	2004/08/21	277.3	216.9	246.2	216.0	160.8	188.2
#2	2005/07/10	2005/07/12	60.6	27.3	36.5	76.3	35.9	52.5
#3	2005/08/02	2005/08/04	95.9	42.9	68.4	113.1	58.3	87.8
#4	2006/07/16	2006/07/18	135.6	85.2	107.0	135.4	86.7	109.1
$R_{sa}$			109.9			104.2		

화우량( $R_{sa}$ )은 109.9 mm와 104.2 mm이며, 대상호우증 #1, #4는 포화우량을 초과하는 누가강우량을 가지며, #2, #3은 포화우량보다 작거나 거의 같은 누가강우량을 기록하였다. 2장에서 언급한 바와 같이, 누가강우량이 포화우량을 초과할 경우에 저류함수법의 유출역과 침투역, 모두에서 유출이 발생하며, 수정된 저류함수법의 유출구조를 적용할 수 있는 호우사상이 된다. 포화우량을 초과하지 않는 호우를 선정한 것은 기존 저류함수법의 유출역의 유출량을 발생시키는 강우량과 수정된 저류함수법에서 적용한 유효우량의 개념을 비교하기 위한 것이다.

#### 4. 기존 저류함수법과 수정된 저류함수법의 비교

기존 저류함수법과 수정된 저류함수법을 대상구역의 Table 2의 호우를 대상으로 적용하였으며, 그 결과가 Fig. 5, Fig. 6 및 Table 3에 나타나 있다. 대상호우사상에 대한 모의는 낙동강홍수예보시스템을 이용하였고, 수정된 저류함수법은 기존 예보프로그램에 subroutine을 추가하여 모의하였다. 두 모형의 비교분석을 위하여, 비선형저수지의 매개변수를 낙동강홍수예보시스템(건설교통부, 2004)에 나타나 있는 값을 동일하게 적용하였다.

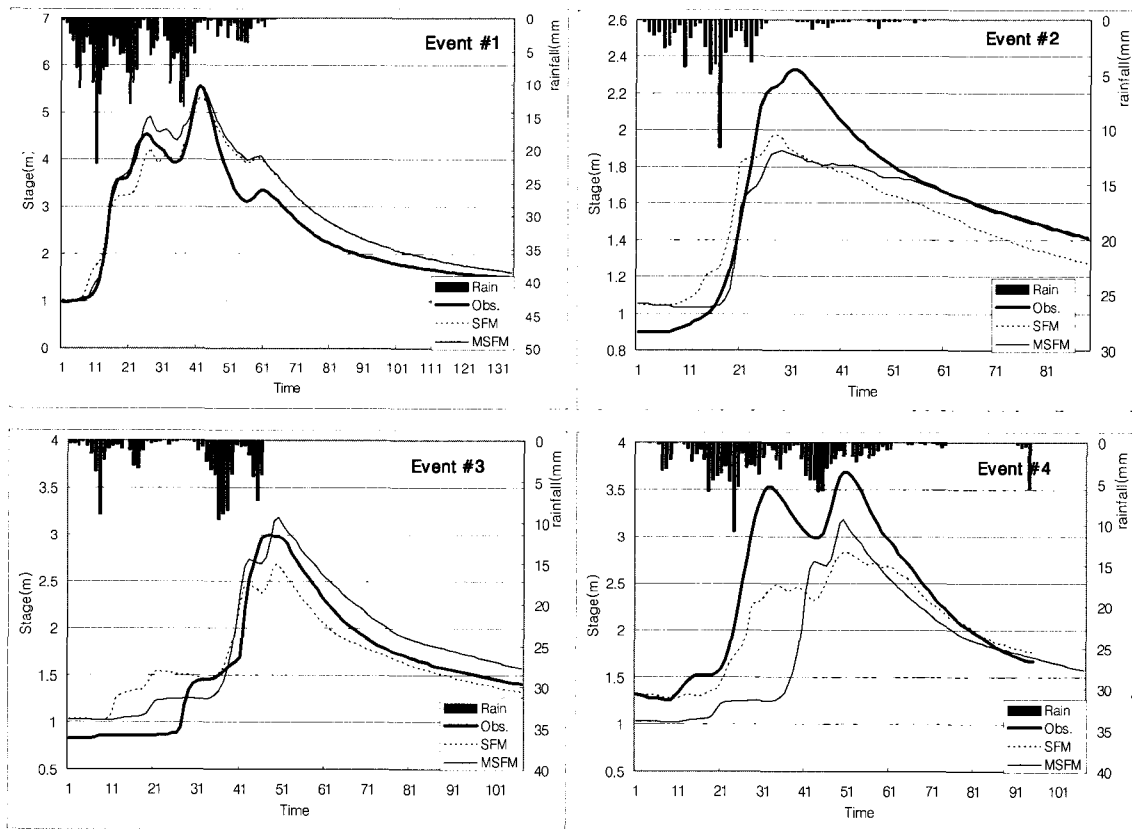


Fig. 5. Simulation of SFM (Musung)

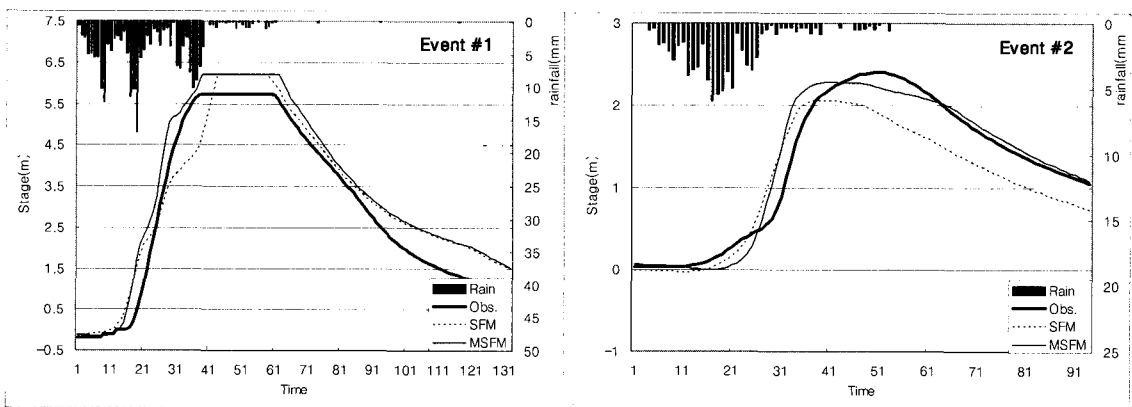


Fig. 6. Simulation of SFM (Yonggok)

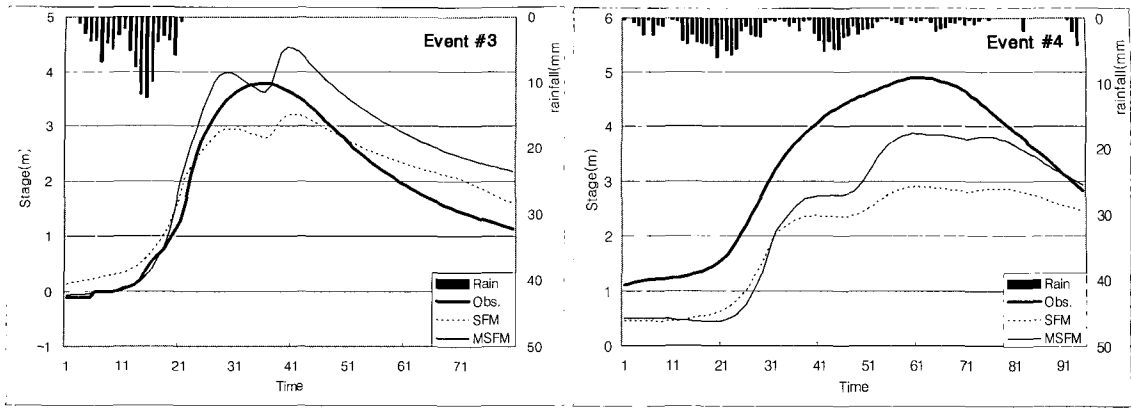


Fig. 6. Simulation of SFM (Yonggok)(continued)

Table 3. Comparison of Observed and Simulated Peak Discharge and Time

Event	Musung						Yonggok					
	Method	Peak Time	Discharge		Stage		Peak Time	Discharge		Stage		
			$Q_p$ (m <sup>3</sup> /s)	Diff. (%)	Sta. (m)	Diff. (%)		$Q_p$ (m <sup>3</sup> /s)	Diff. (%)	Sta. (m)	Diff. (%)	
#1	Obs.	8/18/18:30	1,513	-	4.54	-	-	-	-	-	-	
	SFM	8/18/19:00	1,436	-5.1	4.19	-7.7	-	-	-	-	-	
	MSFM	8/18/19:00	1,605	6.1	4.90	7.9	-	-	-	-	-	
#2	Obs.	7/11/16:30	172	-	2.33	-	7/12/01:00	426	-	2.41	-	
	SFM	7/11/15:00	136	-20.9	1.97	-15.5	7/11/19:30	316	-25.8	2.06	-14.5	
	MSFM	7/11/15:30	121	-29.9	1.89	-18.9	7/12/20:00	400	-6.1	2.29	-5.0	
#3	Obs.	8/03/11:30	350	-	3.00	-	8/03/18:30	983	-	3.78	-	
	SFM	8/03/12:30	276	-21.1	2.67	-11.0	8/03/21:30	717	-27.1	3.21	-15.1	
	MSFM	8/03/12:30	424	21.1	3.18	6.0	8/03/21:00	1,248	28.0	4.44	17.5	
#4	Obs.	7/17/12:00	572	-	3.53	-	7/17/17:30	1,436	-	4.90	-	
	SFM	7/17/12:00	316	-44.8	2.83	-19.9	7/17/17:00	631	-56.1	2.89	-41.0	
	MSFM	7/17/12:00	536	-6.3	3.49	-1.1	7/17/16:30	1,013	-29.5	3.86	-21.2	

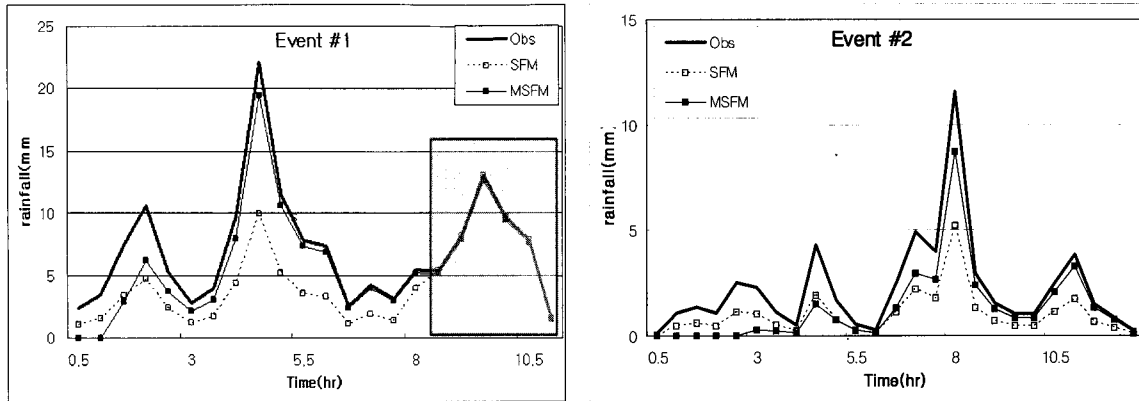
Fig. 6에서 호우사상 #1의 수위관측기록이 나타나 있지 않는 것은, 현재 운영중인 홍수예보시스템에서 수위-유량관계곡선의 적용범위를 설정하고 그 이상의 수위에 대하여서는 수위를 산정하지 않을 뿐 아니라, 외삽법을 적용하지도 않고 있기 때문이다.

Table 3을 살펴보면, 첨두홍수량은 호우사상 #1, #2의 무성지점을 제외하고 모든 호우사상에서 수정된 저류함수법의 결과가 기존 저류함수법의 결과보다 개선되었으며, 첨두홍수발생시간도 호우사상 #4의 용곡지점을 제외하고 개선되었거나, 동일한 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 유효우량의 산정방법 및 유출구조의 차이 때문으로 판단된다.

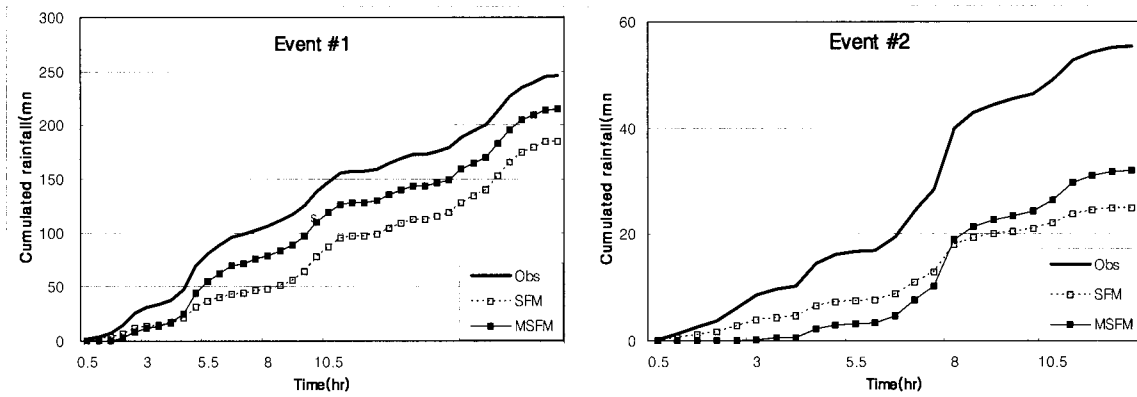
Fig. 5 and 6에서 알 수 있는 바와 같이, 모든 호우

사상에 대하여 기존 저류함수법의 유출이 수정된 저류함수법에 비하여 빨리 발생한다. Fig. 7에서  $r_{cum} < R_{sa}$  인, 사상 #1의 강우초기와 호우사상 #2의 전 기간에 걸쳐 기존 저류함수법은 강우에 비례하여 일정량이 유효우량으로 산정되어 유출이 발생하고, 수정된 저류함수법에서 이용한 SCS 초과우량산정방법은 초기에 유효우량이 거의 없다가 누가우량이 증가하면 유효우량이 급격히 증가하여 유출량 산정되기 때문이다. 또  $r_{cum} \geq R_{sa}$  인 경우에는, Fig. 7의 호우사상 #1에서와 같이 木村俊晃 저류함수법과 SCS 초과우량산정방법에 의한 유효우량이 호우사상 #1의 작은 상자부분과 같이 거의 동일하게 나타난다.





(a) Effective rainfall



(b) Cumulated Effective rainfall

Fig. 7. Comparison of Effective Rainfall between SFM & MSFM (Musung)

$r_{cum} \geq R_{sa}$  인 무성지점의 호우사상 #1, 4에서 수정된 저류함수법의 침투홍수량이 기존 저류함수법에 비하여 크게 나타나는데, 이는 단순히 유효우량의 증가 뿐 아니라, 2.3절의 3)에서 언급한 바와 같이, 같은 크기의 유효우량을 기존 저류함수법에서는 2개의 비선형지수지로 분리하여 계산하기 때문이다. 예를 들어 호우사상 #1의 침투홍수량을 발생시킨 강우량은 침투홍수 발생시간( $Q_p$ )보다 2시간 30분전에 내린 13.08 mm/30분의 강우이며, 기존 저류함수법에 의한 유효우량은 유역포화우량을 초과하였으므로 13.08 mm 전량이 유효우량이고, SCS 초과우량산정방법에 의한 유효우량은 12.66 mm이다. 이들 유효우량을 이용한 유출구조는 기존 저류함수법에서는 유출역에서 5.89 mm( $f_1 = 0.45$ ), 침투역에서 7.19 mm를 각각의 비선형지수지를 통하여 분리 계산하는데 반하여, 수정된 저류함수법에서는 12.66 mm를 1개의 비선형지수지를 통하여 계산하며, 그 결과로 침투홍수량이 수정된 저류함수법이 항상 크게 나타나게 된다. 이때 저류상수( $k, p, T_1$ )는 동일하다.

## 5. 결론

기존 저류함수법은 유역의 유출구조를 유출역과 침투역으로 구분하였고, 비선형 저류함수를 이용하여 홍수추적을 수행하는 개념적 모형이다. 2.3절에서 언급한 바와 같이, 木村俊晃(1961)가 제안한 기존 저류함수법은 몇가지 논리적인 모순을 포함하고 있으며, 이는 SCS 초과우량 산정방법(1972)과 같은 유용한 유효우량 산정방법이 없었기 때문에 판단된다.

본 연구에서는 기존 저류함수법의 침투(유효우량)와 관련된 가정과 비선형지수지의 모순을 수정하여 수정된 저류함수법을 제시하였으며, 낙동강의 위천유역을 대상으로 낙동강 홍수예보시스템을 이용하여 비교하였으며, 결론은 다음과 같다.

- 1) 수정된 저류함수법은 유효우량을 산정하여 저류함수법에 입력하여 강우-유출현상을 모의하므로, 2.3절에서 지적한 것과 같은 기존 모형의 포화유출률( $f_{sa} = 1$ ) 및 일정비율의 유출률( $f_1 r_{ave}$ )에 대한

비합리적인 가정을 수정할 수 있다.

- 2) 기존 저류함수법의 유출구조는 유출역과 침투역을 구분하고, 유역포화수량,  $R_{sa}$ 를 기준으로 병렬구조를 가진 저류특성이 같은 2개의 비선형저수지를 도입하였는데, 이를 1개의 비선형저수지를 통한 홍수추적방법으로 수정하여, 2개의 병렬 비선형저수지에 의한 유출량 분리 계산 절차를 수정할 수 있다.
- 3) 유역유출모형의 매개변수가 6개( $k, p, T_b, f_1, k, f_{sa}, R_{sa}$ )에서 4개( $k, p, T_b, CN$ )로 줄어, 매개변수 조정이 용이하다. 낙동강 홍수예보시스템의 소유역은 총 114개이며, 수정된 저류함수법과 SCS 초과우량산정방법을 이용할 경우 228개의 변수를 줄일 수 있다.

### 감사의글

본 연구는 2006년도 진주산업대학교 기성회 연구비 지원으로 수행된 것입니다.

### 참 고 문 헌

건설교통부 (1998). 5대 중소하천 홍수예경보 프로그램 개발.

건설교통부 (2004). 낙동강홍수예경보프로그램개선 최종보고.

건설교통부 (1997). 중소하천 홍수예경보시스템 기본계획조사 보고서.

김종래, 김주철, 정동국, 김재한 (2006). “동적효과를 고려한 저류함수모형의 최적매개변수 결정.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제39권, 제7호, pp.

593-603.

김한섭, 이정규 (2000). “통합저류함수모형에 의한 홍수 추적.” **한국수자원학회 2000 학술발표회논문집**, 한국수자원학회, pp. 100-105.

남궁달 (1985). “저류함수법에 의한 강우-유출모형의 변수추정.” **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, 제18권, 제2호, pp. 175-185.

송재현, 김형수, 홍일표, 김상욱 (2006a). “저류함수모형의 매개변수 보정과 홍수예측(1) 보정 방법론과 모의 홍수수문곡선의 평가.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제20권, 제1B호, pp. 27-38.

송재현, 김형수, 홍일표, 김상욱, 김범준 (2006b). “저류함수모형의 민감도분석을 통한 경제조건 설정과 매개변수결정에 대한 연구.” **한국수자원학회 2006 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 1996-2000.

윤재홍, 고석구, 김양일 (1991). “최적화 기법에 의한 저류함수 유출 모델의 자동 보정.” **수공학논총**, 한국수자원학회, 제33권, pp. 88-101.

윤용남 (2003). **공업수문학**, 청문각, pp. 358-384.

이정규, 이창해 (1996). “저류함수법의 시변성 매개변수 조정에 퍼지이론 도입에 관한 연구.” **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, 제29권, 제4호, pp. 149-160.

木村俊晃 (1961). 貯留關數法に 洪水流出の 追跡法, 博士學位論文, 日本土木研究所, pp. 89-96, 203-209.

日本國際協力事業團 (1977). 漢江洪水 予警報調査報告書(第5次), pp. 147-151.

Chow, V.T., Maidment, D.R. and Mays, L.W. (1988). *Applied Hydrology*, McGraw Hill. pp. 140-151.

(논문번호:07-38/접수:2007.04.17/심사완료:2007.07.11)