

SCS 초과우량산정방법을 이용한 저류함수법 적용

Application of Storage Function Method with SCS Method

김태균* / 윤강훈**
Kim, Taegyun / Yoon, Kanghoon

ABSTRACT

Has been being 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 devided into two zone, runoff and percolation area and Runoff is occured when cumulated rainfall is not exceed saturation rainfall, but exceed, runoff is occured 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 seperately with nonlinear conceptual reservoir having same characteristics and it is unreasonable assumption. 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, comparision of Kimura and Modified SFM is conducted and It could be seen that Modified SFM is more improvemental and easily applicable method.

key words: flood forecasting and Wanring, storage function method, SCS method

요 지

1974년 한강홍수예경보시스템을 구축한 이후로, 저류함수법을 근간으로 하는 홍수예경보시스템이 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 수정저류함수법을 제시하였으며, 유효우량은 SCS 초과우량산정방법을 이용하였다. 낙동강유역의 위천을 대상으로 수정저류함수법을 적용하였으며, Kimura 저류함수법에 비하여 첨두홍수량 산정에 개선된 결과를 보였으며, 매개변수의 감소로 적용성을 개선하였다.

핵심용어 : 홍수예경보, 저류함수법, SCS 초과우량산정방법

1. 서 론

우리나라의 홍수예경보는 일본국제협력사업단(JICA)에 의하여 처음으로 소개된 이후로 5대강 유역과 삽교천, 만경강 등의 중소규모 하천과 중랑천, 지석천 등 주요 지천까지 확대된다.

* 진주산업대학교 조경학과 부교수 E-mail : tgkim@jinju.ac.kr
** 한국건설기술연구원 수자원연구부 책임연구원 Email : khyoon@kict.re.kr

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

2. 저류함수법과 수정저류함수법

2.1 저류함수법

木村俊晃(Toshimitsu Kimura, 1961)에 의하여 제안된 저류함수법의 이론적 배경은 다음과 같다(木村俊晃, 1961).

$$S_l = KO_l^p \quad (1), \quad \frac{1}{3.6}fr_{ave}A - O_l = \frac{dS_l}{dt} \quad (2)$$

여기서 K, P 는 유역 또는 하도구간에 대한 상수이며, 유역의 연속방정식은 다음과 같다.

여기서 f 는 평균유입계수(유입률), r_{ave} 는 유역평균강우량(mm/hr), A 는 유역면적(km²), $O_l(t) = O(t + T_l)$ 로 지체시간을 고려한 직접유출량(m³/sec)이고, S_l 는 실저류량(m³), T_l 은 지체시간이다

2.2 유역유출모형

유역유출모형의 Eqs. (1), (2)를 $\frac{1}{3.6}fA$ 로 나누어 Eqs. (3), (4)와 같이 변형하여 계산한다.

$$s_l = Kq_l^p \quad (3), \quad r_{ave} - q_l = \frac{ds_l}{dt} \quad (4)$$

여기서 s_l 은 단위저류량(mm), q_l 은 단위유출고(mm/hr)이다..

저류함수법에서는 유출역과 침투역으로 구분하고, 유출역과 침투역이 흥수가 끝날 때까지 병존한다고 가정하여, 유출역에서는 유역에 내린 모든 강우량을 유효우량으로 간주($f=1$)하여 Eqs. (3), (4)를 이용하여 유출계산을 수행하고, 침투역에서는 포화우량(R_{sa})을 초과하는 우량만을 계산하게 되며, 이를 식으로 나타내면 Eqs. (5), (6)과 같다.

$$\text{If } r_{cum} < R_{sa}, \quad r_{ave} - q_l = \frac{ds_l}{dt}, \quad O = \frac{1}{3.6}f_1 A q_l + O_i \quad (6)$$

여기서 r_{cum} 는 누가평균강우량, f_1 은 유역에 대한 유출역의 비, O_i 는 기저유출이다. 또는

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

저류함수법에서는 유역을 유출역과 침투역으로 구분하였으며, 유출구조는 Fig. 1의 (a)와 같다.

Kimura는 유역의 누가강우량이 R_{sa} 를 초과하지 않을 때에는 Fig. 1의 (a)에서 상부 유출역의 비선형저수지로만 지표면유출이 유입하는 것으로 가정하였으며, 누가강우량이 R_{sa} 를 초과할 경우 침투역의 유출이 시작되고, 유출량이 유출특성이 같은 다른 1개의 비선형저수지로 유입하는 것으로 가정하였다.

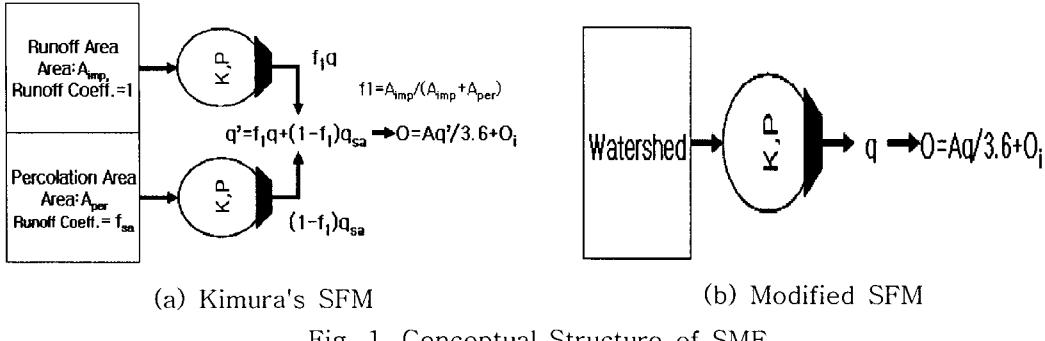


Fig. 1. Conceptual Structure of SMF

2.3 수정저류함수법

Kimura가 제안한 저류함수법의 가정은 유효우량산정 및 유출구조에 있어 모순을 포함하고 있으므로, 이론적으로 합리적인 모형을 제시하고자 하며, 유역유출모형의 구조는 다음과 같다.

- 유역출구에 1개의 비선형저수지(저류상수 : K, P)가 위치하고 있어, 지표면유출량이 비선형 저수지를 통하여 유출한다.
- 수정저류함수법의 계산절차는 기존 저류함수법과 동일하나, 수정저류함수법의 물수지방정식을 유효우량을 이용하여 다음과 같이 나타나며, 여기서 r_{eff} (mm/hr)는 유역의 유효우량이다.

$$r_{eff} - q_i = \frac{ds_i}{dt} \quad (7)$$

3. 대상유역 및 대상호우

본 연구의 대상유역으로는 낙동강의 지류인 위천을 선정하였다. 낙동강 홍수예경보시스템에서 적용되고 있는 유역특성 및 모형의 매개변수는 Table. 1과 같고, Kimura와 수정저류함수법을 비교하기 위한 대상호우는 Table 2.와 같다.

Table 1. Characteristics of Subbasin and Channel of Wi Stream

Wi Stream		Musung (1510)	Ssanggue (1410)	Younggok (1520)	Channel A	Channel B
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 _i	1.827	1.808	1.881	3.510	1.385
Effectie Rainfall	SFM	f _i	0.45	0.45	0.47	
		f _{sa}	1.00	1.00	1.00	
	SCS	R _{sa}	109.9	118.8	104.2	
		CN	90.01	89.97	90.91	

4. Kimura 저류함수법과 수정저류함수법의 비교

Kimura 저류함수법과 수정저류함수법을 대상유역의 Table 2.의 호우를 대상으로 적용하였으며, 그 결과가 Fig. 3., Fig. 4.에 나타나 있다. 대상호우사상에 대한 모의는 낙동강홍수예경보 시스템을 이용하였고, 수정저류함수법은 기존 예경보프로그램에 subroutine을 추가하여 모의하였다.



Fig. 2. Wi Stream

Table 2. Rainfall-runoff Event for Test Run

Event	Begin	End	Cumulated Rainfall	
			Musung	Younggok
#1	04/08/17	04/08/21	277.3mm	216.0mm
#2	05/07/10	05/07/12	60.6mm	76.3mm
#3	05/08/02	05/08/04	95.9mm	113.1mm
#4	06/07/16	06/07/18	135.6mm	135.4mm
			R_{sa}	109.9mm
				111.8mm

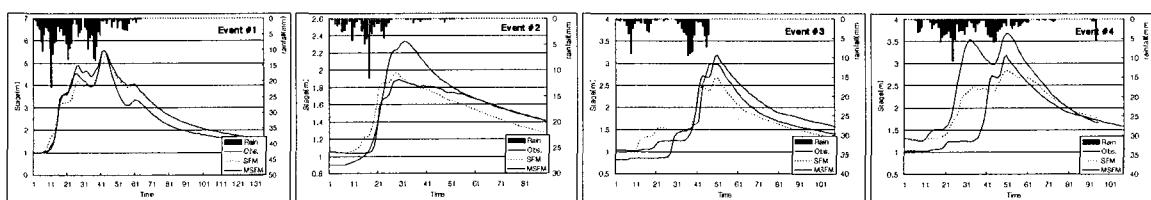


Fig. 3. 저류함수법 모의 결과(Musung)

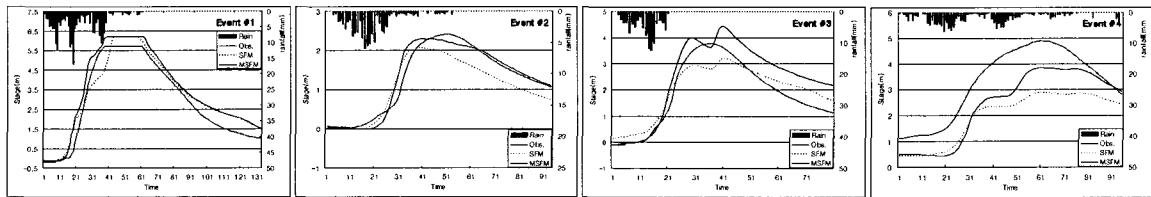


Fig. 4. Simulation of SFM(Yonggok)

Table. 2에서 알 수 있는 바와 같이 호우사상 #2와 #3은 누가우량이 포화우량을 초과하지 않으므로 Kimura의 방법과 수정저류함수법이 동일한 모형이며, 단지 유효우량에서 차이를 가지며, Fig. 5.의 호우사상 #2에 나타나 있다.

Fig. 5.의 호우사상 #2를 살펴보면, Kimura의 저류함수법모형에 의한 유효우량은 유출역으로부터의 유출로서, 유역에 내린 강우량에 $f_1(=0.45)$ 만큼 비례하여 유효우량이 산정됨을 알 수 있고, SCS 방법에 의한 유효우량은 강우초기에는 유효우량이 거의 없으며, 누가우량이 증가함에 따라 유효우량도 증가하여 강우가 끝나는 시점에서는 유효우량이 강우량과 거의 같아짐을 알 수 있고, 첨두홍수량의 차이는 유효우량의 차이에서 비롯된 것임을 알 수 있다.

유역의 강우량이 포화우량(R_{sa})를 초과하는 호우사상 #1, #4에서도 이와 비슷한 경향이 나타나는 것을 알 수 있다. Fig. 5.의 호우사상 #1에서 누가강우량이 R_{sa} 이 초과하는 18시 이후에는 Kimura의 가정에 의한 유효우량과 SCS 초과우량산정방법에 의한 유효우량이 동일하게 나타나며, Fig. 3., 4.에서 첨두홍수량의 차이는 최대강우량 발생시의 SCS 초과우량산정방법에 의한 유효우량이 Kimura의 유효우량보다 크기 때문이다.

따라서 어떤 강우-유출사상을 분석할 때, 대상호우의 첨두홍수량을 발생시키는 최대강우량이 Kimura가 가정한 유역의 포화우량(R_{sa})을 초과하지 않는 범위내에서 발생한다면, 첨두홍수량의 크기는 수정저류함수법이 항상 크게 나타나며, 포화우량(R_{sa})을 초과하는 범위에서 발생할 경우에는 SCS 초과우량산정방법에 의한 유효우량과 Kimura의 유효우량이 강우량과 거의 동일하므로

같은 시간에 첨두홍수량이 발생하나, 그 크기는 선행강우에 의한 유효우량의 크기에 따라 달라진다. Kimura 저류함수법과 수정저류함수법의 비교에서 첨두시간에 차이가 거의 없는 것은 비선행 저수지의 저류상수를 동일하게 적용한 때문이며, 4개 호우사상의 최대강우량이 포화우량 이전에 발생한 때문이다.

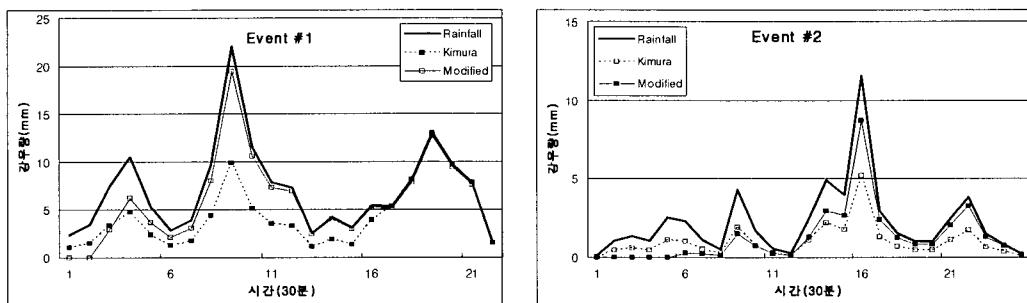


Fig. 5. Comparision of Effective Rainfall between Kimura & Modified SFM(Musung)

5. 결 론

Kimura 저류함수법에서 유출구조를 유출역과 침투역으로 구분한 것은 유역의 유효우량을 산정하기 위한 가정으로 Kimura(1961)에 의하여 저류함수법이 제안될 당시에는 SCS 초과우량산정방법(1972)이 개발되지 않았기 때문에 판단되며, 결론은 다음과 같다.

- 1) Kimura 저류함수법에서 제안된 유효우량산정방법을 SCS 초과우량산정방법으로 대치하여 유효우량을 쉽게 산정할 수 있었으며, 누가우량의 증가에 따른 유효우량 변화를 잘 나타내므로 첨두홍수량 예측의 정확도를 높일 수 있다.
- 2) 유역유출모형의 매개변수가 6개(K , P , T_l , f_1 , fsa , R_{sa})에서 4개(K , P , T_l , CN)로 줄어, 매개변수 조정이 용이하다.
- 3) 기존 모형이 유역을 유출역과 침투역으로 구분하고, 각각의 유출지역에 같은 특성을 지닌 2개의 비선행 저수지를 가정하여 풀이한 이론적 오류를 수정하여 1개의 비선행저수지를 이용한 유출모형으로 변경하였다.

참 고 문 헌

- 건설교통부(2004), 낙동강홍수예경보프로그램개선 최종보고
 윤용남(2003), 공업수문학, 청문각, pp358-384
 건설교통부, 1997, 중소하천 홍수예경보시스템 기본계획조사 보고서
 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