

저류함수모형의 매개변수 보정을 위한 보정기법 비교 연구

Comparative Study on Calibration Methods for Parameter Calibration of Storage Function Model

김범준*·송재현**·곽재원***·김형수****

Kim, BumJun·Kim, JaeHyun·Kwak, JaeWon·Kim, Hung Soo

요 지

홍수를 예측하기 위해서 국내 5대강 유역의 홍수통제소는 저류함수모형을 사용하고 있다. 그러나 저류함수모형을 실제 홍수사상에 적용하기 위해 매개변수를 결정하여야 하는데 이는 매우 어려운 작업으로 지금까지는 저류함수모형의 매개변수 보정을 위해 시행착오에 의한 수동보정 방법을 사용하여 왔다.

이에 본 연구는 미호천 유역을 대상유역으로 하여 Pattern Search Multi-Start(P-S), SCE-UA와 유전자 알고리즘(GA)을 이용하여 매개변수 보정을 하고, 그 방법들에 대한 비교와 분석을 하였다. 그리고 최적화 기법을 통해 얻어진 매개변수를 사용하여 저류함수모형의 홍수수문곡선을 유도하고 이를 비교, 분석하였다. 또한 SSR과 WSSR의 목적함수를 사용하여 목적함수별 홍수수문곡선을 비교, 분석하였다.

핵심용어 : 저류함수모형, 최적화 기법, 목적함수, SSR, WSSR

1. 서 론

저류함수모형의 매개변수 추정방법은 홍수수문자료 등의 부족으로 인하여 일본의 이근천(利根川) 공식과 목촌(木村) 공식을 주로 사용하고 있으나, 우리나라의 유역특성을 충분히 반영하지 못하는 등 많은 문제점을 가지고 있다. 따라서 우리나라 유역특성에 적합한 매개변수를 산정하는데 많은 노력을 기울여 왔지만 홍수수문자료의 부족과 모형이 가지는 자체의 한계성 등 여러 가지 문제점으로 인하여 아직까지 만족할 만한 성과를 얻을 수 없었다.

우리나라에서는 유출모형을 자동으로 보정하기 위해서 박봉진 등(1997)은 저류함수모형을 매개변수로 보정하기 위해서 유전자 알고리즘(GA)을 적용하였으며, 성윤경 등(2004)은 Pattern Search Multi-Start, SCE-UA, 그리고 GA로 SIMHYD와 Tank모형의 매개변수 보정에 대한 적용성을 연구하였다. 또한 송재현 등(2006)은 Rosenbrock, Simulated Annealing, GA를 저류함수모형에 적용하여 매개변수를 보정하였다. 국외에서 유출모형의 자동보정을 위해서 Sorooshian 등(1994)은 SCE-UA방법을 적용하였으며, Madsen 등(2000)은 SCE-UA와 Clustering & Simulated Annealing을 적용하였다.

이에 본 연구는 미호천 유역을 대상유역으로 하여 Pattern Search Multi-Start, SCE-UA와 유전자 알고리즘을 이용하여 저류함수모형의 매개변수 보정하였다. 그리고 송재현 등(2006)이 제시한 SSR과 WSSR의 목적함수를 이용하여 보정방법별, 목적함수별 홍수수문곡선을 비교하고 분석하였다.

* 정회원·인하대학교 환경토목공학부 석사과정·E-mail : qaz390@naver.com
** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원·E-mail : k6zero@empal.com
*** 정회원·인하대학교 환경토목공학부 석사과정·E-mail : firstword@nate.com
**** 정회원·인하대학교 환경토목공학부 부교수·공학박사·E-mail : sookim@mail.inha.ac.kr

2. 저류함수모형

2.1 유역 및 하도추적

홍수유출계산을 위한 저류함수법(Kimura, 1961)은 유역과 하도에서의 유출량과 저류량의 관계를 표시하는 저류함수를 홍수파의 운동방정식에 대입하여 홍수파의 연속방정식을 계산함으로써 홍수유출량을 결정하는 방법이다. 유역에 대한 연속방정식은 다음과 같다.

$$\frac{1}{3.6} f \gamma_{ave} A - Q_1 = \frac{dS_1}{dt}$$

여기서 f 는 유역유입계수, γ_{ave} 는 시간당 유역 평균강우량, A 는 유역면적(km²), $Q_1(t) = Q(t+T_1)$ 으로서 유역의 지체시간 T_1 을 고려한 유역으로부터의 직접유출량(m³/sec), S_1 은 유역저류량(m³/sec)이다. 하도에 대한 연속방정식은 다음과 같다.

$$\sum_{j=1}^n f_j I_j - Q_1 = \frac{dS_j}{dt}$$

여기서 f_j 는 하도의 평균유입계수, I_j 는 유역 및 저류역에서 하도로 유입되는 유입량, 또는 하도구간의 상류단으로의 유입량이다. $Q_1(t) = Q(t+T_1)$ 은 지체시간 T_1 을 고려한 하도구간 하류단의 유출량(m³/sec)이다. S_j 는 하도구간에 저류되는 저류량(m³/sec)이다.

2.2 목적함수

본 연구에서는 2가지 목적함수를 사용하였는데, 첫 번째로 실측유량과 계산유량의 편차의 제곱의 합(Sum of Squared of Residual, ssr)을 사용으며 ssr 의 목적함수 식은 다음과 같다.

$$Min \sum_{i=1}^n [Q_o(i) - Q_c(i)]^2$$

여기서, n 은 자료의 수, Q_o 는 실측유량, Q_c 는 계산유량을 각각 나타낸다. 수문모의모형의 매개변수 최적화시 목적함수로 가장 보편적으로 쓰이는 지표이다. 단순히 오차를 누가한다는 개념이어서 자료의 개수에 영향을 받고 이상 자료에 의한 영향이 크다.

두 번째로 목적함수 ssr 에 첨두값과 첨두값 발생시간에 대한 가중치를 준 $wssr$ (Weighted Sum of Squared of Residual)을 사용하였으며 $wssr$ 의 목적함수는 다음과 같다.

$$F = \left[\sum_{j=1}^n (Q_{obs}(i) - Q_c(i))^2 \right] \times W_1 \times W_2$$

$$W_1 = 1 + \frac{|Q_{obs,peak} - Q_{sim,peak}|}{Q_{obs,peak}}$$

$$W_2 = 1 + \frac{|T_{obs,peak} - T_{sim,peak}|}{100}$$

여기서 i 는 관측자료의 개수이고 Q_{obs} 는 관측유량, Q_{sim} 은 모의유량, $Q_{obs,peak}$ 는 관측첨두유량, $Q_{sim,peak}$ 는 모의 첨두유량, $T_{obs,peak}$ 는 관측첨두유량 발생시간, 그리고 $T_{sim,peak}$ 는 모의첨두유량 발생시간이다.

3. 적용 및 결과

3.1 대상유역 및 자료

본 연구에서는 저류함수모형을 이용한 소유역의 저류함수 매개변수를 보정하였다. 이용된 소유역은 미호

천 유역의 22, 23번 소유역으로서 그림 1에 나타나 있다.

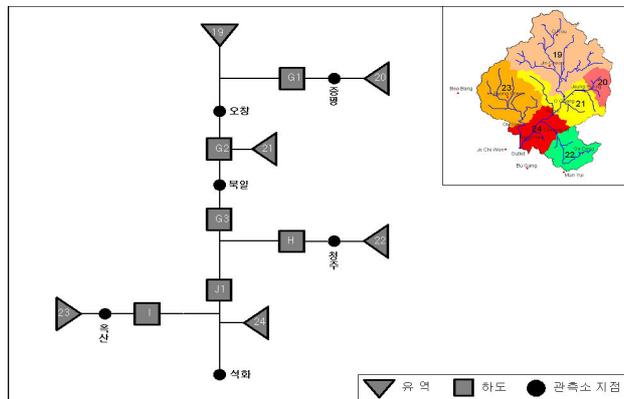


그림 1. 미호천 유역의 유역도와 유출모식도

청주와 옥산 수위 관측소가 있어 관측소의 관측된 값을 이용하여 매개변수를 추정하였다. 이용된 자료는 1995, 1997, 1999, 2001년, 각각 청주와 옥산의 홍수사상, 총 8개의 홍수사상이다. 홍수사상 당 120개의 자료를 이용하였다.

3.2 적용 및 결과

앞서 이론에서 설명하였던 P-S와 SCE-UA, GA를 이용하여 각 홍수사상별로 최적 매개변수를 추정하였다. 추정된 매개변수 5개(K, P, T_l, f_1, R_{sa})를 사용하여 홍수량을 추정한 후 이를 관측값과 비교하였다. 또한 목적함수를 ssr 과 $wssr$ 을 사용하여 매개변수를 추정하였다. 목적함수를 달리 했을 때 발생한 유출량을 관측값과 비교하였다.

그림 2과 3는 각 홍수사상들에 대하여 각 보정방법별 홍수수문곡선의 결과를 비교한 그림이다. 그림 2은 소유역22의 홍수사상의 결과이며, 그림 3은 소유역23의 홍수사상에 대한 결과이다.

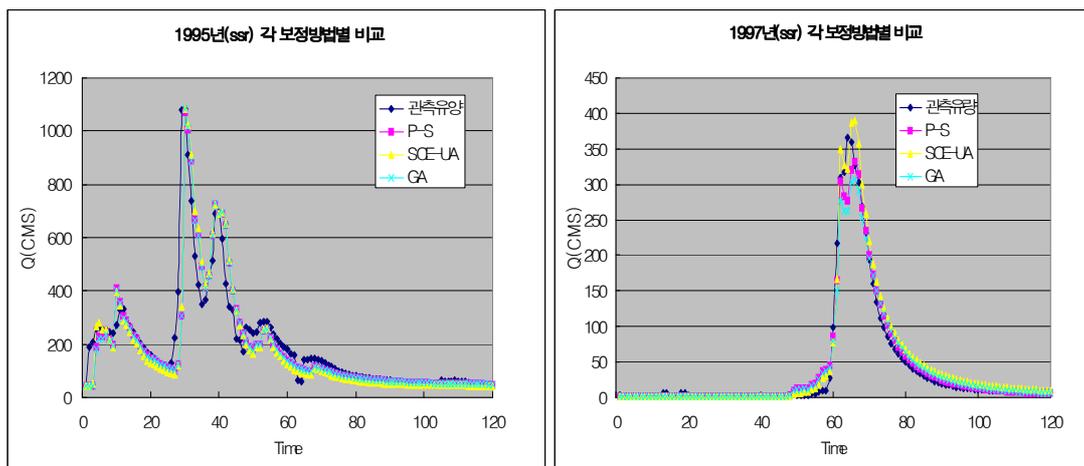


그림 2. 각 보정방법별 유출량 비교(ssr, 소유역22)

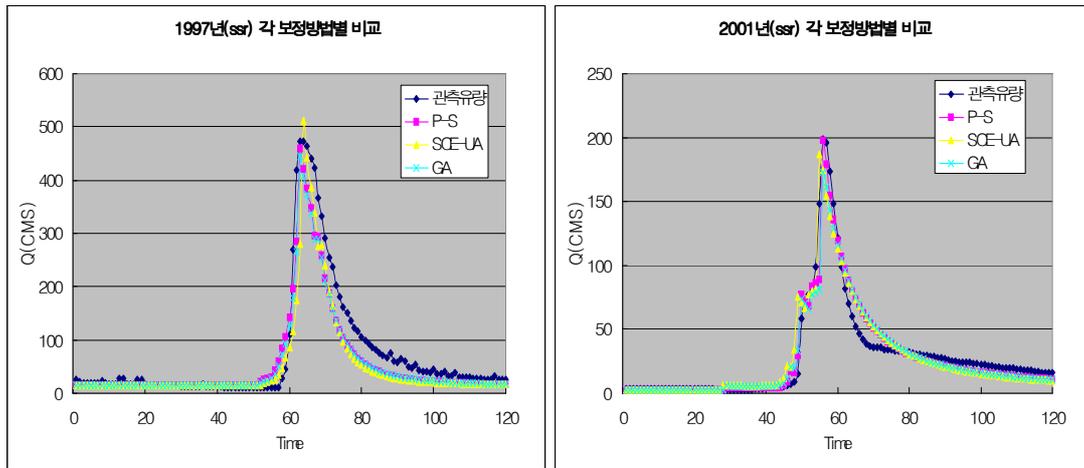


그림 3. 각 보정방법별 유출량 비교(ssr, 소유역23)

그림 3과 4는 각 홍수사상들에 대하여 목적함수별 홍수수문곡선의 결과를 비교한 그림이다. 그림 3은 소유역22의 홍수사상의 결과이며, 그림 4은 소유역23의 홍수사상에 대한 결과이다.

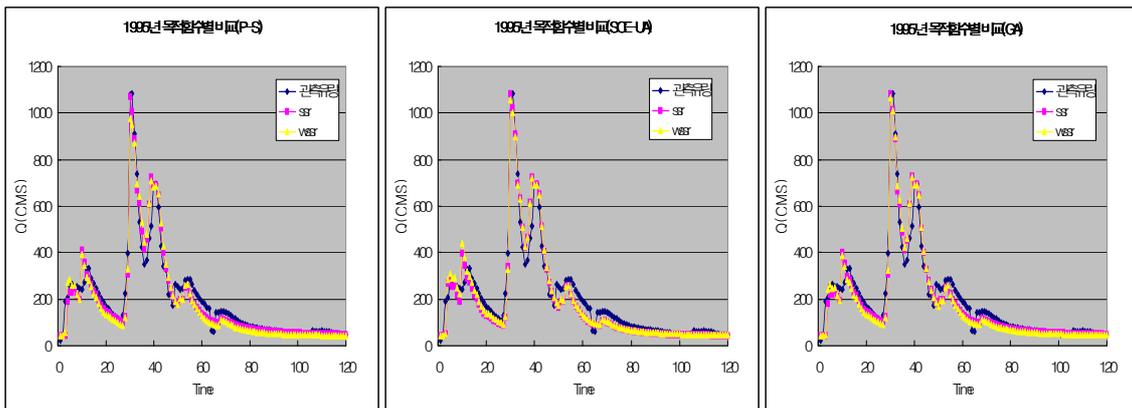


그림 4. 목적함수별 유출량 비교(1995년, 소유역22)

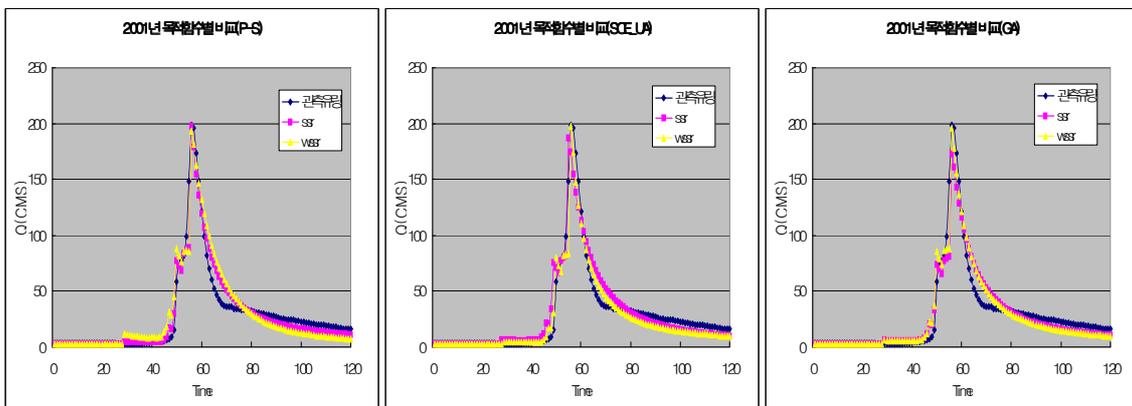


그림 5. 목적함수별 유출량 비교(2001년, 소유역23)

각 보정방법별, 목적함수별 홍수수문곡선의 결과를 수치적으로 표현하기 위해 NRMSE를 사용하여 결과를 나타내었다. 표 1과 2는 소유역 22와 23에 대한 보정방법별 목적함수별 NRMSE를 나타낸 표이다.

표 1. 보정방법별 목적함수별 NRMSE (유역22)

	ssr			wssr		
	P-S	SCE-UA	GA	P-S	SCE-UA	GA
1995년	0.044	0.047	0.044	0.049	0.047	0.046
1997년	0.035	0.042	0.043	0.029	0.038	0.031
1999년	0.051	0.110	0.109	0.075	0.115	0.046
2001년	0.076	0.081	0.056	0.073	0.111	0.058

표 2. 보정방법별 목적함수별 NRMSE (유역23)

	ssr			wssr		
	P-S	SCE-UA	GA	P-S	SCE-UA	GA
1995년	0.246	0.247	0.246	0.257	0.256	0.248
1997년	0.074	0.090	0.076	0.074	0.089	0.075
1999년	0.088	0.099	0.090	0.096	0.099	0.092
2001년	0.047	0.059	0.056	0.064	0.048	0.050

4. 결론

본 연구에서 저류함수모형의 매개변수를 3가지의 최적화 방법과 2가지의 목적함수로 보정을 하여 홍수수문곡선을 유도하고 이를 비교하였다. 최적화 방법에 따라 비교해 볼 때, 유전자 알고리즘이 다른 방법들보다 나은 결과를 보였지만 비교적 결과는 비슷하였으며, 결과의 정확성은 홍수사상에 따라 결과가 달라지는 경향을 보였다. 그러나 P-S와 SCE-UA의 최적화 방법은 GA에 비하여 빨리 매개변수를 산정하는 장점이 있었다. 목적함수에 따라 비교해 볼 때, 평가함수인 NRMSE의 지표로 목적함수 wssr과 ssr의 결과가 비교적 유사한 결과를 나타내었으나, wssr은 첨두 홍수량 측면에서 ssr보다 비교적 좋은 결과를 나타내었다. 그러나 목적함수로 wssr를 사용하였다 하더라도 첨두 홍수량이 ssr에 비하여 더 정확하게 나오지 않은 홍수사상도 있었다.

매개변수 보정시 매개변수의 범위를 어떻게 선택해 주느냐에 따라 다른 결과가 나왔다. 이에 정확한 매개변수 산정 위한 매개변수의 범위를 설정하는 것이 필요하며 범위 설정 방안은 모색해야 할 것이다. 또한 홍수예경보의 성능 향상을 위해 다른 최적화 방법을 적용시키고 저류함수모형뿐만 다른 강우-유출 모형을 적용하여 이를 비교할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부의 ‘홍수예보모형의 성능 평가 및 개선’ 연구사업의 일환으로 수행되었으며, 건설교통부와 연구수행에 많은 조언을 해 주신 한국건설기술연구원의 연구진에 감사드립니다.

참고문헌

1. 박봉진, 차형선, 김주환(1997). 유전자 알고리즘을 이용한 저류함수모형의 매개변수 추정에 관한 연구. 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제30권, 제4호, pp. 347-355.
2. 성운경, 감상현, 김현준, 김남원(2004). 다양한 목적 함수와 최적화 방법을 달리한 SIMHYD와 TANK 모형의 적용성 연구. 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제37권, 제2호, pp. 121-131.
3. 송재현, 김형수, 홍일표, 김상욱(2006). 저류함수모형의 매개변수 보정과 홍수예측 (1) 보정 방법론과 모의 홍수수문곡선의 평가. 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제26권, 제1B호, pp. 27-38
4. 송재현(2006). 홍수예측을 위한 저류함수모형의 매개변수 보정에 관한 연구, 석사학위논문, 인하대학교.
5. Duan, Q., Sorooshian, S. and Gupta, V.K.(1994). Optimal use of the SCE-UA global optimization method for calibrating watershed models, Journal of Hydrology, Vol. 158, pp. 265-284.
6. Madsen, H. (2000) Automatic calibration of a conceptual rainfall-runoff model using multiple objectives. Journal of hydrology, Vol. 235, pp. 276-288.