

# 강우-유출모형을 위한 매개변수 순차 보정기법 연구

## A Study of Progressive Parameter Calibrations for Rainfall-Runoff Models

곽재원\*, 김형수\*\*, 홍일표\*\*\*  
Jae Won Kwak, Hung Soo Kim, Il Pyo Hong

### 요 지

본 연구에서는 저류함수모형과 Tank 모형, SSARR 모형을 이용하여 금강유역의 미호천 유역, 일본의 Kusaki 댐 유역, 베트남의 Ta Trach 유역에 대하여 홍수모의예측을 수행하고 그 효율성을 분석하였다. 연구에 적용된 강우-유출 모형에 대하여 Pattern Search, Genetic Algorithm 의 최적화 방법과 WSSR과 SSR의 목적함수를 이용한 매개변수 산정을 수행하였다. 최적화 방법을 적용할 때 매개변수 보정의 효율성 증대를 위하여, 보정과정 내에서 매개변수 간 상관성을 분석하고 이를 바탕으로 매개변수를 소군집으로 분류하여 민감도에 따른 순차 보정 방법을 적용하고 이 결과를 비교 분석하였다. 매개변수 소군집을 이용한 보정 방법과 기존에 사용되는 전체 매개변수를 이용한 보정 방법을 적용한 결과, SSR 에 적용하였을 때 침투 유량과 보정 시간 면에서 유리한 것으로 나타났고, 저류함수 모형과 TANK 모형에 대해서 좀 더 좋은 결과를 나타내는 것으로 나타났다.

**핵심용어** : 강우-유출모형, 보정기법, 매개변수, 순차보정기법

### 1. 서 론

홍수 시 어떤 하천의 하류에서 수위나 유량을 정확히 예측할 수 있다면, 홍수경보의 발령과 적절한 댐 운영을 통한 홍수량의 경감에 큰 도움을 줄 것이다. 이를 위하여 국내에서는 주로 강우-유출 모형을 통하여 하류의 수위 및 유량을 예측하고 있다. 그러나 강우-유출 모형에서의 유출은 강우와 침투, 토양특성 등을 대표하는 모형 매개변수에 영향을 받으며, 이들 매개변수는 비선형성을 가지고 있어 매개변수를 결정하는 것은 상당히 난해한 작업이라 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 저류함수모형과 Tank 모형, SSARR 모형을 이용해 금강유역의 미호천 유역, 일본의 Kusaki 댐 유역, 베트남의 Ta Trach 유역에 대하여 홍수모의예측을 수행하고 그 결과를 비교, 분석하였으며 매개변수 보정을 위하여 유전자 알고리즘, 패턴탐색 등의 최적화 방법과 목적함수로 WSSR과 SSR를 적용하였다. 또한, 매개변수 보정의 효율성 증대를 위하여, 보정과정 내에서 매개변수 간 상관성을 분석하고 이를 바탕으로 매개변수를 소군집으로 분류하여 민감도에 따른 순차 보정 방법을 적용하고 이 결과를 비교 분석하였다.

\* 정회원 · 인하대학교 사회기반시스템공학부 토목공학과 박사과정 · E-mail : firstsword@naver.com  
\*\* 정회원 · 인하대학교 사회기반시스템공학부 토목공학과 교수 · E-mail : sookim@inha.ac.kr  
\*\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원 · E-mail : iphong@kict.re.kr

## 2. 이론적 배경

### 2.1 홍수예보모형

본 연구에서 적용된 모형은 저류함수 모형과 TANK 모형, SSARR 모형으로서 각각의 모형은 국내, 일본, 베트남 지역에서 적용된 모형 중에 선정하였다. 저류함수모형(Storage Function Model)은 산지가 많은 유역에 적합하도록 개발된 홍수유출 방법으로 연속방정식에 유역이나 하도에서의 유출량과 저류량의 관계를 표시하는 저류함수를 대입하여 홍수 유출량을 계산하는 방법이다. Tank 모형은 임의의 집수유역을 여러 개의 저류형 탱크로 모의하여 강우-유출 과정을 모형화한 것으로서 하천유출과 관련된 일종의 개념적이고 종합형(Lumped) 모형이다. SSARR (Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation) 모형은 미국 공병단의 북태평양지부에서 수자원 시스템의 설계, 계획 및 관리를 위하여 개발한 수학적 수문모형으로 저수지 조작, 대유역의 실시간 일유출예보 등의 목적으로 널리 사용되고 있는 모형이다.

### 2.2 목적함수 및 목적함수 결정방법

목적함수는 모형거동의 측정치 역할을 하며, 그 값은 참 값에 대한 추정값의 근접정도를 나타낸다. 매개변수 자동보정은 모형의 매개변수에 따라서 적절한 목적함수의 선정이 필요하다.(건설교통부, 2005) 본 연구에서의 목적함수는 일반적으로 홍수예보모형에 사용되는 SSR 과 송재현(2006)에 의해 제안된 WSSR 을 적용하였다. WSSR은 목적함수 SSR에 첨두값과 첨두값 발생시간에 대한 가중치를 준 목적함수이며, WSSR의 목적함수는 식 (1)과 같다(송재현, 2006)

$$F = \left[ \sum_{j=1}^n (Q_o(i) - Q_s(i))^2 \right] \times W_1 \times W_2 \quad \left( W_1 = 1 + \frac{|Q_{op} - Q_{sp}|}{Q_{op}}, W_2 = 1 + \frac{|T_{op} - T_{sp}|}{T_{op}} \right) \quad (1)$$

여기서  $i$  는 관측자료의 개수이고  $Q_o$  는 관측유량,  $Q_s$  은 모의유량,  $Q_{op}$  는 관측첨두유량,  $Q_{sp}$  는 모의 첨두유량,  $T_{op}$  는 관측 첨두유량 발생시간, 그리고  $T_{sp}$  는 모의 첨두유량 발생시간이다.

### 2.3 적용대상 유역

본 연구에서의 대상유역인 미호천유역은 금강 유역의 북쪽 중앙부에 위치하고 있다. 유역면적은 1850km<sup>2</sup>로서 금강 전 유역면적의 18.8%를 점하고 미호천의 유로연장은 87.3km이다. 두 번째 대상유역인 일본의 Kusaki 댐 유역은 일본 중부 지방에 위치하고 있으며, 일본의 군마현과 토치기현의 경계 지역에 위치하고 있다. Kusaki 댐을 기준으로 소유역이 형성되어 있으며 유역의 면적은 약 254 km<sup>2</sup> 이다. Kusaki 댐 유역은 우리나라 남부의 기후에 가까우며, 유사한 기후적 특성을 지니고 있다. 마지막 대상 유역인 베트남의 Ta Trach 유역은 베트남 중부의 중앙 부에 위치한 Thuong Nhat 지방의 Ta Trach 강 상류에 위치하고 있으며 유역면적은 3760 km<sup>2</sup> 이다.

## 3. 적용 및 결과

### 3.1 매개변수 간 상관관계 분석 및 소군집 분류

일반적으로 수문모형의 매개변수들은 상관성을 가지고 있으나, 이러한 상관성은 비선형성을 지

니고 있기 때문에 명확하게 정의하거나 정량적으로 나타내기 어렵다. 특히, 연속된 지수함수 형태의 유출함수를 가지는 수문모형의 경우에는 이러한 경향이 커진다. 이러한 상관성을 파악하기 위하여, 그림 1 과 같이 매개변수의 보정을 시행하기에 앞서 최적화 과정 내에서 매개변수 간에 가지는 민감도분석을 수행 하였다.

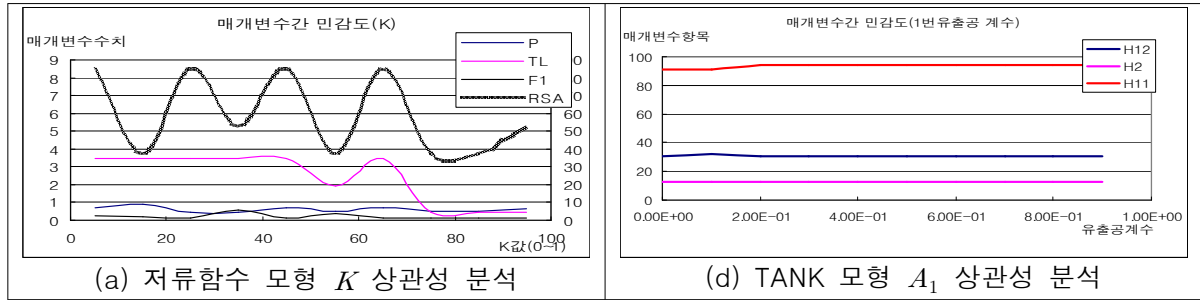


그림 1. 강우-유출 모형의 모형 내 매개변수 상관성 분석

최적화 과정의 매개변수 간의 민감도 분석은 각 구역에서 자동 및 수동 보정을 통하여 적절한 매개변수 set을 설정한 뒤, 매개변수 개체를 선택하여 각각의 매개변수가 가질 수 있는 범위 내에서 최적화 과정을 수행하고 이에 따른 최적 매개변수의 변화를 알아보았다. 민감도 분석의 대상인 매개변수는 범위 내에서 일정한 간격으로 변화를 주고 나머지 매개변수는 최적화 기법을 통하여 해당 조건의 최적 매개변수를 산정하였다. 이를 바탕으로 모형의 일반적인 매개변수 군집 P 와 이러한 상관성 분석을 통하여 소군집으로 산정한 P<sub>n</sub> 을 이용하여 유출모의를 수행하고 그 결과를 비교하였다.

$$P = \{p_i \mid p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6 \dots p_n\} \quad (2)$$

$$P_1 = \{p_{1i} \mid p_{11}, p_{12}, p_{13}, \dots p_{1n}\} \quad (3)$$

$$P_2 = \{p_{2i} \mid p_{21}, p_{22}, p_{23}, \dots p_{2n}\}$$

⋮

⋮

$$P_n = \{p_{ni} \mid p_{n1}, p_{n2}, p_{n3}, \dots p_{nn}\}$$

적용된 매개변수 최적화 기법은 이전 연구에서 좋은 결과를 도출한 유전자 알고리즘과 패턴탐색의 보정방법을 각 강우-유출 모형에 적용하고 매개변수의 상관성 분석 결과를 바탕으로 매개변수 Set 을 이용한 보정과 상관성이 높은 매개변수를 군집화 하여 순차적으로 보정하는 방법을 적용하여 그 결과를 비교 분석 하였다.

### 3.2 적용결과 분석

각 구역, 보정기법, 목적함수별 보정수문곡선의 대표적인 예를 다음 그림 2 와 같이 나타내었다. 붉은 선은 매개변수 Set 을 이용하여 보정한 결과이며, 푸른 선은 매개변수의 상관관계를 이용한 매개변수 군집을 이용한 순차 보정 결과이다.

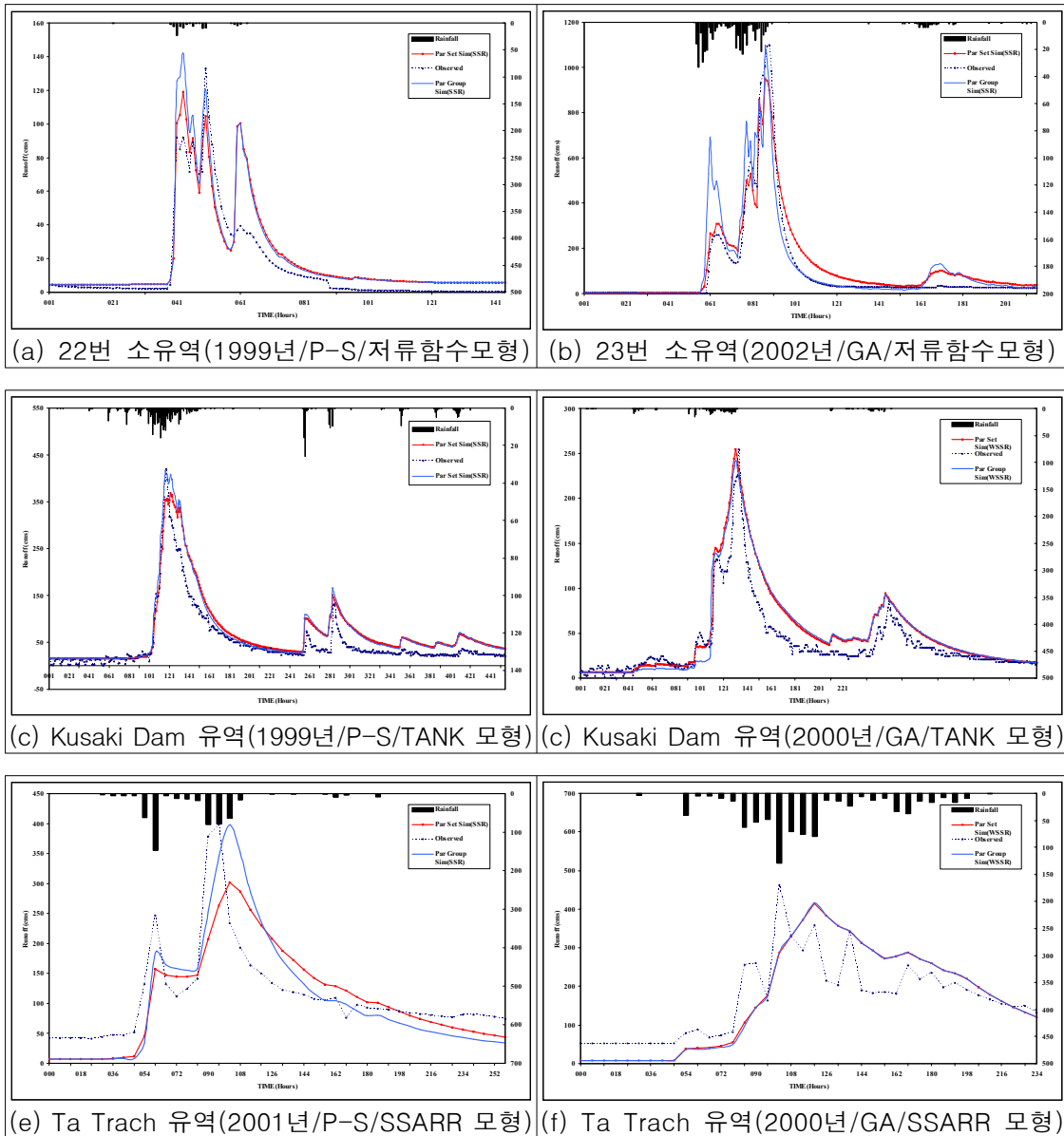


그림 2. 각 모형, 유역, 보정방법 별 보정수문곡선

적용 결과를 살펴보면, 수문모형별로는 적용 유역 모두에서 대체적으로 좋은 결과 값을 나타내 주었다. 강우 사상별로 차이는 있으나 어떠한 모형의 우열을 가리기는 어려웠다. 다만, 베트남 지역에서 SSARR 모형이 상대적으로 더 불안정한 결과를 보여주었다. 그러나, 이는 베트남 지역의 수문자료가 6시간 단위의 자료이고, 불확실성이 높아서 이에 대한 영향을 받은 것으로 보인다.

보정 기법별 결과는 유전자 알고리즘의 경우 매개변수의 개수나 사상에 따라서 영향을 받지 않고 좋은 결과치를 나타내었다. 그러나, 상대적으로 매개변수가 늘어남에 따라서 그림 3 과 같이 매개변수 최적화 과정에서 보정시간이 지수적으로 증가하였다. 패턴 탐색 방법의 경우에는 적합한 보정 결과와 빠른 보정 수행 시간을 보여주었으므로 상대적으로 합리적인 대안으로 판단된다.

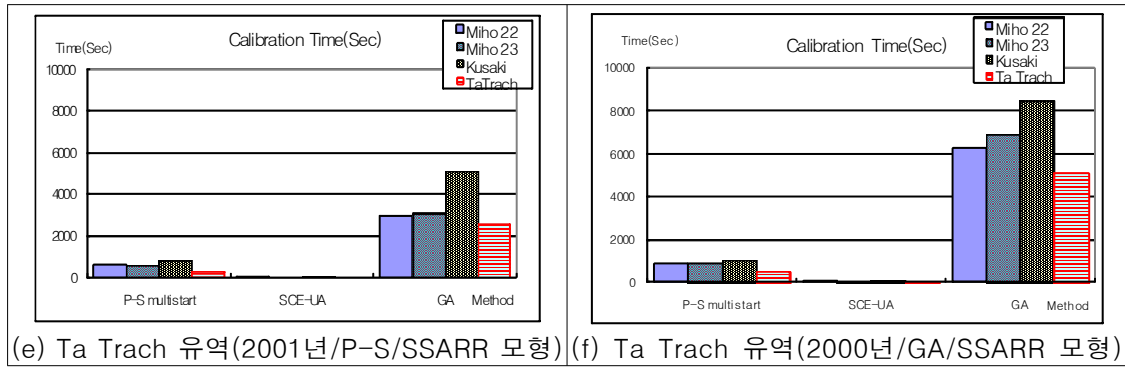


그림 3. 각 모형, 유역, 보정방법 별 매개변수 산출시간

보정방법에 따른 결과는 매개변수 Set을 이용한 방법과 매개변수 군집을 이용한 방법이 모두 유사한 결과를 보여주었다. 그러나, 매개변수 군집을 이용한 방법이 최적화 수행시간이 평균 35% 정도 적게 소요되는 결과를 보여주었다. 홍수예경보 시에 홍수 방어를 위한 Lead time 의 확보 측면에서 유용하다고 판단된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 강우-유출모형인 저류함수모형과 Tank 모형, SSARR 모형을 금강 유역의 미호천 유역, 일본의 Kusaki 댐 유역, 베트남 Ta Trach 유역에 적용하여 홍수수문곡선의 예측을 수행하고 비교, 분석하였다.

강우-유출모형을 적용하여 결과를 비교 분석한 결과 모형간의 결과 값의 차이는 크지 않았다. 오히려 홍수예보 모형이 적용되는 유역이나 강우사상에 따라서 다른 결과 값을 보여주었으며, 수문 모형 및 보정 기법의 대상이 되는 수문 자료에 따른 영향을 더 크게 받았다. 또한, 모형 내 매개변수의 상관관계를 분석하여 매개변수의 군집을 이용한 순차보정 방법을 적용한 결과 유사한 결과를 도출하면서 보정에 소요되는 시간이 감소 하는 것으로 나타났다.

## 참고문헌

1. 건설교통부(2005). 홍수예보모형의 성능평가 및 개선 연구(1차), 한국건설기술연구원.
2. 송재현(2006). 홍수수문곡선 모의를 위한 저류함수모형의 매개변수 보정에 관한 연구, 석사학위논문, 인하대학교.