

Grey 모형을 이용한 홍수량 예측

Real Time Flood Forecasting Using a Grey Model

강 민 구(서울대)* · 박 승 우(서울대)

Kang, Min Goo · Park, Seung Woo

Abstract

A Grey model was developed to forecast short-term runoff from the Naju watershed in Korea. In calibration, the root mean square error(RMSE) of the simulated runoff of six hours ahead using Grey model ranged from 6.3 to 290.52 m³/s, R² ranged from 0.91 to 0.99, compared to the observed data. In verification, the RMSE ranged from 75.7 to 218.9 m³/s, R² ranged from 0.87 to 0.96, compared to the observed data. The results in this study demonstrate that the proposed model can reasonably forecast runoff one to six hours ahead.

I. 서론

하천수계의 홍수유출을 예측하기 위해서는 시간 및 공간적으로 변동하는 수문기상요소와 유역의 특성 인자들에 대한 정확한 상호관련성의 규명이 필요하다. 유역의 유출과정은 토지이용과 선행수문사상에 따라 유출조건이 복잡하고, 유역의 강우-유출관계가 비선형성을 내포하고 있어서 유역유출의 정확한 예측은 매우 어려운 문제이다.

실시간 홍수량 예측에 대한 연구는 총괄형 강우-유출모형, 분포형 결정론적 모형, 추계학적 모형, Markov chain 모형, 신경망이론 등이 적용되고 있다. 장래 홍수사상의 예측은 강우, 침투와 토양특성과 같은 매개변수들의 변동이 비선형으로 하천홍수량에 영향을 미치기 때문에 분포형 모형이나 추계학적 모형으로 홍수량을 정확히 예측하는데는 많은 어려움이 있다.

Grey 모형은 홍수량을 예측하는데 많은 자료가 필요하지 않다는 점에서 확정론적 모형이나 추계학적 모형과 다르다. Yu 등(2001)은 Grey 모형을 이용하여 강우량 예측과 홍수량 예측에 적용하여 모형의 적용성을 평가하였다.

영산강 본류구간의 중앙정도에 위치한 나주지점에는 영산강 홍수 통제소가 위치하고 있으며, 영산호의 유입량을 예측하기 위해서는 나주지점의 홍수량을 정확하게 예측할 필요가 있다. 나주지점의 홍수량 예측은 Tank 모형, 신경망 모형이 적용된 바 있다.

본 연구에서는 Grey 이론과 전역최적화 기법인 Annealing-Simplex(A-S)법을 결합하여 실시간 홍수량 예측을 모형을 개발하고, 영산강유역의 나주지점의 홍수유출량 예측에 대하여 적용하여 모형의 적용성을 검토하였다.

II. 홍수량 예측 모형

2.1 Grey 모형

Grey 모형의 유역유출에 대한 미분방정식은 식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned} & \frac{d^n Q^{(k)}(t)}{dt^n} + \otimes_{a_1} \frac{d^{n-1} Q^{(k)}(t)}{dt^{n-1}} + \dots + \otimes_{a_n} Q^{(k)}(t) \\ & = \otimes_{b_0} \frac{d^m R^{(k)}(t)}{dt^m} + \otimes_{b_1} \frac{d^{m-1} R^{(k)}(t)}{dt^{m-1}} + \dots + \otimes_{b_m} R^{(k)}(t) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, $Q^{(k)}(t)$ 는 $Q^{(0)}(t)$ 의 k차 누가값, $R^{(k)}(t)$ 는 $R^{(0)}(t)$ 의 k차 누가값을 나타내며, $Q^{(0)}(t)$ 는 시간 t에서 유출량, $R^{(0)}(t)$ 는 시간 t에서 면적평균 강우량을 나타내고, $\otimes_{a_i}(i=1,2,\dots,n)$ 와 $\otimes_{b_j}(j=1,2,\dots,m)$ 는 Grey 모형의 매개변수를 나타낸다.

Grey 모형의 1차 미분방정식은 식 (2)와 같다.

$$\frac{dQ^{(1)}(t)}{dt} + \otimes_{a_1} Z^{(1)}(t) = \otimes_{b_0} \frac{dR^{(1)}(t-1)}{dt} + \otimes_{b_1} R^{(1)}(t-1) \quad (2)$$

$$\frac{dQ^{(1)}(t)}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{Q^{(1)}(t) - Q^{(1)}(t-1)}{\Delta t} = Q^{(1)}(t) - Q^{(1)}(t-1) = Q^{(0)}(t) \quad (3)$$

$$Z^{(1)}(t) = 0.5[Q^{(1)}(t) + Q^{(1)}(t-1)] \quad (4)$$

$$\frac{dR^{(1)}(t-1)}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{R^{(1)}(t-1) - R^{(1)}(t-2)}{\Delta t} = R^{(1)}(t-1) - R^{(1)}(t-2) = R^{(0)}(t-1) \quad (5)$$

식 (2)를 다시 쓰면 식 (6)과 같다.

$$Q^{(1)}(t) = \otimes_{c_1} Q^{(1)}(t-1) + \otimes_{c_2} R^{(1)}(t-1) + \otimes_{c_3} R^{(1)}(t-2) \quad (6)$$

2.2 매개변수 최적화

(1) 최적화 기법

Grey 모형의 매개변수 결정은 전역최적화 기법 중의 하나인 Annealing-Simplex(A-S)법을 사용하였다. A-S법은 전역탐색기법 중 효과적이고 효율적인 방법 중의 하나이며 Simulated Annealing법의 강력함과 Downhill Simplex법의 효율성을 결합한 방법으로 다양한 형태로 개발되어 적용이 되고 있으나 수문모형의 매개변수보정에도 적용되고 있다(강 등, 2002). Simulated Annealing법은 도약을 통해서 지역최적해로부터 벗어나려는 과정을 거치며, 실행이 쉽고 강력하나 효율성이 떨어지는 단점이 있다. Downhill Simplex법은 지역 최적해 근처로 빠르게 수렴하는 장점이 있으나, 지역 최적해로부터 벗어날 수 있는 방법이 없다. A-S법은 이러한 두 가지 방법의 장단점을 상호 보완하는 방법이며, 두 가지 방법을 결합하여 새로운 전역 탐색법을 개발하는 연구가 진행되어 왔다.

본 연구에서는 Pan과 Wu(1998)가 제안한 A-S법을 Grey 모형의 매개변수 최적화에 적용하였다. 강우-유출모형의 매개변수의 변화에 따른 목적함수값의 형상은 매우 복잡해서 지역해로부터 벗어나기 위해서는 몇 번의 가열냉각과정(annealing)이 필요하므로 본 연구에서는 연속적인 가열냉각과정이 동일한 값을 찾거나 두 점간의 거리가 10^{-5} 보다 작은 경우에 전역 최적해를 탐색한 것으로 하여 탐색을 중단하도록 하였다.

(2) 목적함수

목적함수는 모형거동의 측정치 역할을 하며, 그 값은 참 값에 대한 추정값의 근접정도를 나타낸다. 그러나, 특정한 목적함수가 다른 목적함수 보다 모형보정에 더 적절하다고 명확하게 주장할 수 없으며, 목적함수에 따라서는 대상유역의 최상의 매개변수를 찾을 수 없는 경우도 있다. 따라서, 매개변수 자동보정은 모형의 매개변수에 따라서 적절한 목적함수의 선정이 필요하며, 본 연구에서는 고수위와 저수위의 전기간에 걸쳐 만족할만한 보정결과를 나타내는 HMLE(heteroscedastic maximum likelihood estimator)를 목적함수로 선정하였다(강 등, 2002).

III. 모형의 적용

3.1 대상유역

Grey 모형의 적용대상유역으로 영산강 수계내에 위치한 나주 수위관측소의 유역을 선정하였다. Fig. 1과 같이 나주 수위관측소는 영산강 유역의 중류부에 위치하고 있으며, 영산강 홍수에경보에 중요한 역할을 한다. 나주 수위관측소의 유역면적은 2058.72 km²이며, 유로장은 662.2 km이다.

3.2 모형의 구성

본 연구에서는 5차 미분방정식을 홍수량 예측에 적용하였다. 나주 상류유역의 유역면적이 넓어 강우량과 수문곡선의 상승부 사이의 시간이 길어 강우량에 대하여 유출이 느리게 반응하기 때문이다. 식 (8)은 1시간 후의 홍수량을 예측하기 위한 미분방정식을 정리한 것이며, 강우량은 삼서, 장성댐, 광주 지점의 유역평균 강우자료를 사용하였다.

$$\begin{aligned} Q^{(1)}(t+1) = & \otimes_{c_1} Q^{(1)}(t) + \otimes_{c_2} Q^{(1)}(t-1) + \otimes_{c_3} Q^{(1)}(t-2) + \otimes_{c_4} Q^{(1)}(t-3) \\ & + \otimes_{c_5} Q^{(1)}(t-4) + \otimes_{c_6} R^{(1)}(t) + \otimes_{c_7} R^{(1)}(t-1) + \otimes_{c_8} R^{(1)}(t-2) \\ & + \otimes_{c_9} R^{(1)}(t-3) + \otimes_{c_{10}} R^{(1)}(t-4) + \otimes_{c_{11}} R^{(1)}(t-5) \end{aligned} \quad (8)$$

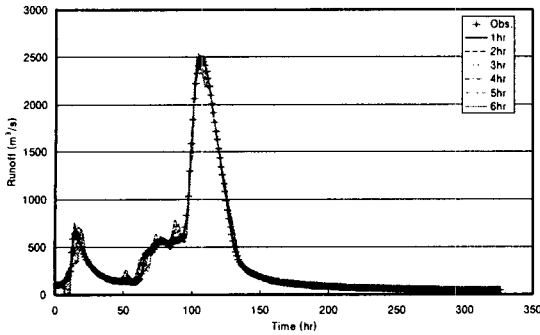
3.3 적용결과

(1) 모형의 보정

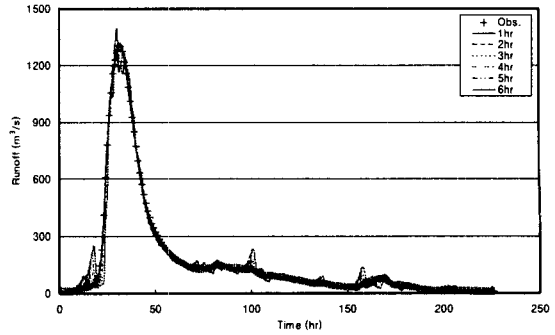
Grey 모형의 보정은 5개의 강우사상을 사용하였다. Table 1은 보정결과를 나타낸 것으로 예측시간이 길어질수록 실측치와 예측치간의 RMSE는 커지고, R²는 작아지는 결과를 나타냈다. 1시간 후의 홍수량의 실측치와 모의치간의 RMSE는 2.4~38.9 m³/s, R²는 0.9936~0.9998를 나타냈으며, 6시간 후의 홍수량의 실측치와 모의치간의 RMSE는 6.3~290.52 m³/s, R²는 0.9088~0.9985를 나타냈다.

(2) 모형의 검정

모형의 검정은 2000년의 3개 강우사상을 이용하여 실시하였으며, Table 2는 모형의 검정결과를 나타낸 것이다. 모형의 검정시 1시간 후의 홍수량의 실측치와 모의치간의 RMSE는 8.3~13.4 m³/s, R²는 0.9995~0.9997를 나타냈으며, 6시간 후의 홍수량의 실측치와 모의치간의 RMSE는 75.7~218.9 m³/s, R²는 0.8739~0.9617을 나타냈다.



(a)19990919



(b) 20010711

Fig. 1 Diagram of predicted flow hydrograph for calibration

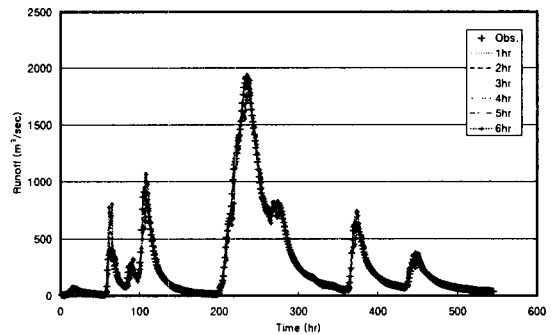
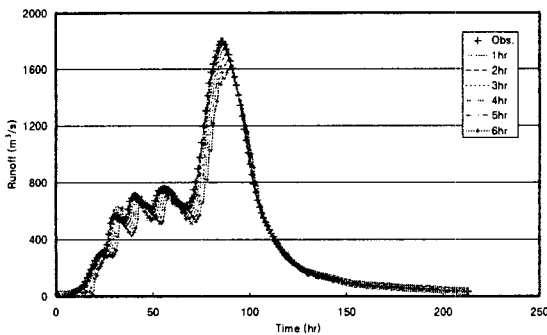


Fig. 2 Diagram of predicted flow hydrograph for calibration

V. 요약 및 결론

본 연구에서는 Grey 이론과 전역최적화 기법인 Annealing-Simplex(A-S)법을 결합하여 실시간 홍수량 예측을 모형을 개발하고, 영산강유역의 나주지점의 홍수유출량 예측에 대하여 적용하여 모형의 적용성을 검토하였다.

참고문헌

1. 강민구, 박승우, 임상준, 김현준, 2002. 전역최적화 기법을 이용한 강우-유출모형의 매개변수 자동 보정, 한국수자원학회, 35(5), pp. 541-552.
2. Yu, P. S., C. J. Chen, and S. J. Chen, Lin S. C., 2001. Application of grey model toward runoff forecasting. Journal of The American Water Resources Association, Vol. 37, No. 1, pp. 151-166.
3. Pan L. and Wu L. (1998). " A hybrid global optimization method for inverse estimation of hydraulic parameters : Annealing-simplex method." Water Resources Research, 34(9), 2261-2269.