매개변수 추적에 의한 중·소하천의 실시간 홍수예측모형

Real-time Flood Forecasting Model for the Medium and Small Watershed Using Recursive Parameter Optimization

문 종 필* · 김 태 철 (충남대)
Moon, Jong Pil · Kim, Tai Cheol

Abstract

To protect the flooding damages in Medium and Small watershed, it needs to set up flood warning system and develope Flood Forecasting Model in real-time basis for medium and small watershed. In this study, it was able to minimize the error range between forecasted flood inflow and actual flood inflow, and forecast accurately the flood discharge some hours in advance by using simplex method recursively for the determination of the best parameters of RETFLO model. The result of RETFLO perfomance applied to several storm of Yugu river during 3 past years was very good with relative errors of 10% for comparison of total runoff volume and with one hour delayed peak time.

Ⅰ. 서 론

2001년 중·북부지역에 내린 집중호우로 인하여 중·소하천에 엄청난 홍수피해는 홍수방어 구조물 및 홍수 예·경보체제가 잘 갖추어지면 크게 경감시킬 수 있을 것이다. 우리 나라는 중·소 하천에 대한 홍수예경보 시스템이 갖추어진 곳은 많지 않으며 홍수량조사 및 홍수예측 모형 개발이 초기단계이다. 중·소하천 홍수예측모형은 저류함수모형을 변형한 형태로 개발되고 있으며 대하천에 적용되는 모형을 중·소 하천의 홍수예측에 적용하는 것은 무리이다. 실측자료로서 정해진 모형의 매개변수가 실시간으로 변화하는 중·소하천의 강우-유출현상에 그대로 적용하여 off-line으로 홍수 예측을 하는 것은 예·경보에 적당하지 않으며 강우 및 유출량 자료의 실시간 관측과 매개변수추적으로 실시간으로 홍수를 예보하는 시스템이 바람직하다.

이 연구에서는 퍼스컴을 이용하여 행정자치부 방재시스템의 강우와 금강홍수통제소의 수위자료를 실시간으로 전송받아 모형의 상태변화에 적응하는 최적 매개변수를 Kalman filter기법의 기본개념에 입각한 Simplex method로 추정하였으며 실시간으로 추정된 최적매개변수와 중·소하천의 유출형태를 잘 반영하는 SCS 합성단위유량도를 적용하므로써 정확하고 신속하게 홍수유입량을 예측하는 Black box모형을 개발하였다.

2001년도 한국농공학회 학술발표회 논문집(2001년 10월 12일)

II. 대상유역 및 적용자료

1. 대상유역

금강 제1지류인 유구천 하류부에 위치하고 있는 우성관측소를 대상지점으로 하여 모형을 개발하였으며 유역면적은 265.4㎢이고 유로연장은 28km이다. 지질은 편상화강암 및 화강암으로 구성되어 있으며 해발 600m의 산지지형을 이루고 있다. 유역은 공주시 신풍면, 사곡면, 유구면, 우성면 등에 걸쳐 있으며 하천을 끼고 경작지가 잘 발달되어 있고 하천의 대부분이 자연제방으로 형성되어 있어 홍수시 피해가 우려되는 지역이다.

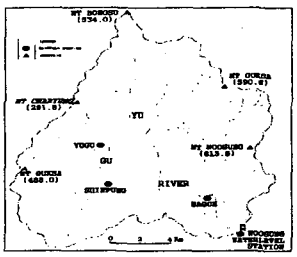

Fig.1.Watershed map of Yugu river

2. 강우자료

신풍면, 사곡면, 유구면 등 3개 면사무소에서 1997년부터 1999년까지 관측된 행자부 방재망 강우자료를 사용하였으며, 이 3개 지점의 시간별 강우량을 유역평균강수량으로 산정하였다.

3. 홍수수문자료

유구천 유역의 시간별 홍수위자료는 1997년부터 1999년까지의 금강홍수통제소의 우성관측소 TM자료를 사용하였으며 Table 1의 연도별 수위-유량 곡선식에 따라 유량자료로 변환하였다.

Table 1. Equation of rating curve for Woosung waterlevel station

Year	Water level(m)	Rating curve equation
1997	0.80 <h <6.00	$Q = 128.741(h-0.804)^{1.427}$
1998	0.27 <h <1.00	$Q = 0.095(h+0.389)^{13.924}$
	1.00 <h <6.00	$Q = 40.732h^{1.986}$
1999	0.66 <h <1.26	$Q = 14.567h^{5.730}$
	1.26 <h <4.21	$Q = 178.015(H-0.913)^{1.108}$

III. 모형의 구성

1. 모형의 기본개념

이 실시간 홍수예측모형은 강우량, 하천수위가 실시간으로 입력되므로 자료가 매시간 새롭게 변화한다. 그러므로 시간에 따른 자료변화에 적응할 수 있도록 매시간 최적의 매개변수를 추정할 수 있도록 Kalman Filter개념을 Simplex method에 도입하였다. 토양수분상태를 연속적으로 추정할 수 있는 DAWAST 모형으로부터 호우직전의 유역토양수분상태 S_a를 산정하고 USBR(미개척국)식으로 홍수도달시간의 초기값을 산정하였다. 산정된 두 개의 매개변수를 이용하여 SCS 합성단위유량도를 작성하고 홍수유입량을 추정하였다. 이 때 추정된 값이 실측치에 근접하지 못한 경우 실측치를 가장 잘 재현하는 매개변수를 Simplex method로 탐색하여 updating하고 feed-back 하므로서 관측자료가 부족하고 관측수문자료가 전무한 중·소 하천 및 저수지에서도 비교적 정확하게 홍수유입량를 예측할 수 있는 실시간 홍수예측(REal Time FLOod forecasting: RETFLO)모형을 개발하였다.

2. 모형의 보정방법

실시간 홍수예측(RETFLO)모형의 보정에는 2개의 매개변수(Sa, Tc)에 대한 예민도분석을 실시하였고 최적화기법으로 최적의 매개변수 조합을 선택하였다. 매시간 변화하는 자료에 대한 오차를 수정할 수 있도록 제약조건이 없는 비선형 Simplex method를 순환적으로 적용시켜 매개변수를 새롭게 보정할 수 있도록 하였다.

Ⅳ. 모형의 보정

유구천 유역에서 과거 2년동안에 발생했던 2가지 호우사상(1997년,1998년)에 대한 홍수관측자료를 모형의 보정자료로서 적용하였다.

1. 실시간 매개변수 추정

Simplex method로 실시간 매개변수 추정을 실시하였으며 매개변수의 초기값인 잠재저류능(Sa)은 DAWAST로부터 추정한 결과 140mm로서 건조한 상태이었으며 홍수도달시간은 USBR식에 의해 4.2시간으로 계산되었다. 시간별 홍수유입예측량과 관측유출량의 차이를 매개변수 보정에 대한 기준으로 삼았다. 매개변수 추정에 의한 홍수유입량 예측과정으로서 그 일부과정만을 기술하면 Fig.2 와 같다

Fig.2-1에서 1997년 7월1일 12시까지 내린 강우에 의한 관측유입량은 622.2m^3/s인데, 예측유입량은 538.5m^3/s이며 현재까지 내린 유역강우에 의하여 앞으로 2시간후에 첨두홍수량 900m^3/s에 도달할 것으로 예상되며 이때 추정 매개변수는 Sa가 135.1mm, Tc는 360분이었다. Fig.2-2에서 1997년 7월1일 14시에는 추정 매개변수의 값 Sa가 127.7mm Tc는 360분이었으며 현재까지 내린 유역강우에 의하여 예측유입량이 900.6m^3/s으로 첨두홍수량에 도달할것으로 예상하였으며 실제관측유입량은 904.5m^3/s이었으며 첨두홍수량에 도달하였다.

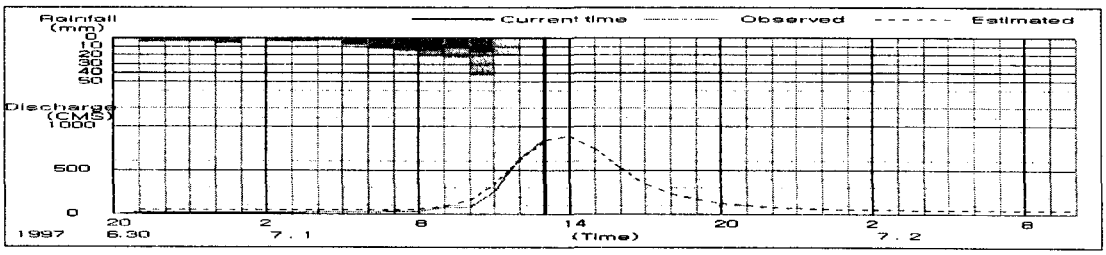

Fig.2-1. Flood forecasting process for each hour at Woosung waterlevel station from June 30 to July 2 in 1997 (1997. 7. 1 12:00)

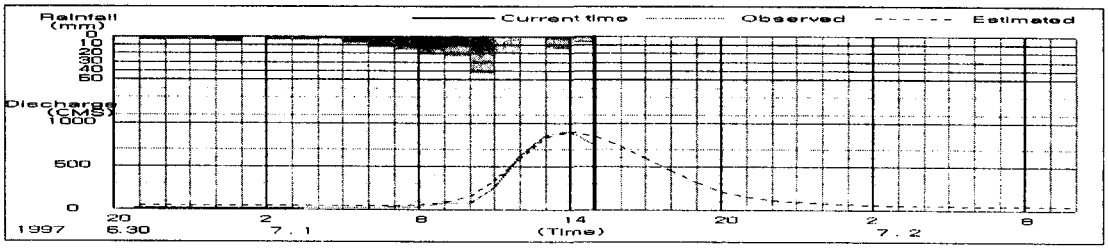

Fig.2-2. Flood forecasting process for each hour at Woosung waterlevel station from June 30 to July 2 in 1997 (1997. 7. 1 14:00)

2. 보정결과 및 고찰

보정기간에 발생된 홍수사상에 대하여 관측된 홍수량과 본 모형에 의하여 추정된 홍수량을 비교하였다. 매개변수의 실시간 추정을 통하여 매우 정확하게 홍수유입량을 예측하고 있으며 보정기간에 적용된 홍수사상에 대한 보정결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Calibrated parameters combination and relative errors applied to storm events at Woosung waterlevel station

Storm event period	Calibrated Parameter		time-to-peak	Relative error	
	Sa(mm)	Tc (minute)		Total volume	Peak discharge
1997.6.30~7.2	180	360	well-fitted	+2.7%	+0.4%
1998.8.10~12	232	320	1 hour delayed	-15%	+6.5%

V. 모형의 검정

1. 실시간 매개변수 추정에 의한 홍수유입량 예측

Fig.3-1에서 1999년 8월3일 13시까지 내린 강우에 의한 관측유입량은 380.7m^3/s, 예측유입량은 327m^3/s 이었다. 현재까지 내린 유역강우에 의하여 앞으로 2시간후에는 첨두홍수량 467m^3/s예상되었으며 실제로 Fig.3-2와 같이 1999년 8월3일 15시 481m^3/s 로 피크에 도달하였다.

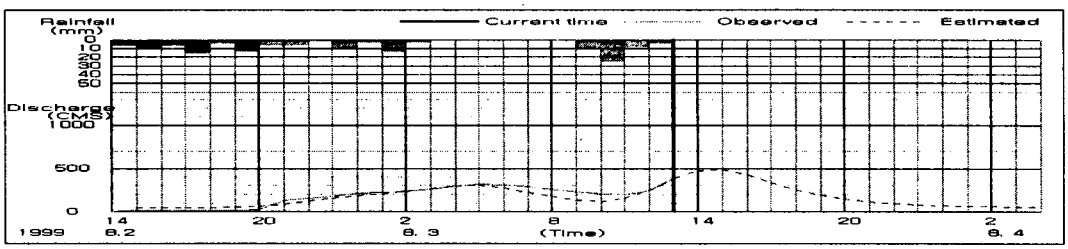

Fig.3-1. Flood forecasting process for each hour at Woosung waterlevel station from August 2 to 4 in 1999 (1999. 8. 3 13:00)

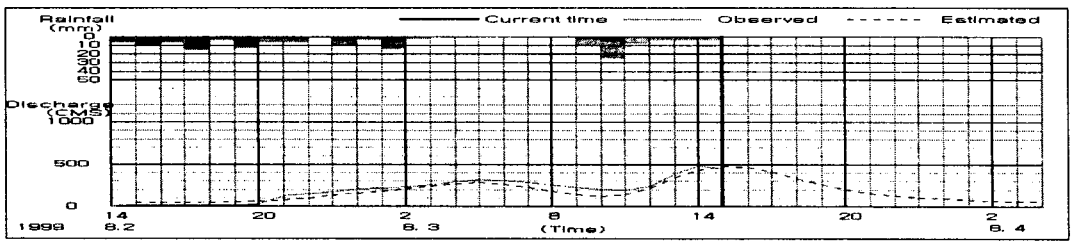

Fig.3-2. Flood forecasting process for each hour at Woosung waterlevel station from August 2 to 4 in 1999 (1999. 8. 3 15:00)

2. 검정결과 및 고찰

이 모형을 1999년 8월 2~4일 사이에 발생한 우성수위관측소에 적용한 결과 실제 총 홍수유출용량은 3,339×10^4m^3이고 추정된 홍수유출용량은 3,003 ×10^4m^3으로 -10%의 상대오차를 보였고 첨두홍수량은 -2.8%의 오차를 보였으며 그 결과는 Table 3과 같다.

Table 3. Calibrated parameters combination and relative errors applied to storm events at Woosung waterlevel station

Storm event period	Calibrated Parameter		time-to-peak	Relative error	
	Sa(mm)	Tc (minute)		Total volume	Peak discharge
1999.8.2 ~4	180	312	1 hour delayed	-10%	-2.8%

Ⅵ. 결 론

퍼스컴을 이용하여 행정자치부의 방재시스템으로부터 강우자료와 금강홍수통제소의 수위자료를 실시간으로 입력하여, Kalman filter 기법의 기본적인 개념을 Simplex method에 적용하여 실시간으로 매개변수추정을 실시하고 SCS 합성단위유량도를 적용하므로써 정확하고, 신속하게 실시간 홍수유입량을 예측하는 Black box형 홍수예측모형을 개발하였다.

개발된 실시간 홍수예측모형을 중·소 하천인 유구천에 적용하여 모형을 검정하였으며, 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 행자부 방재망과 금강홍수통제소로부터 강우량과 수위자료를 실시간으로 전송받아 유역의 토양수분상태(Sa)와 홍수도달시간(Tc)을 매개변수로 선택하여 수집되는 관측자료를 가장 잘 반영하는 최적의 매개변수값을 실시간으로 추정하여 SCS합성단위유량도로 중소 하천의 홍수유입량을 예측하였다.

2. 유구천유역에 적용한 결과 총유출용량은 상대오차 ±10%이내의 값으로 예측되었다. 첨두홍수량은 ±5%이내의 값을 보였으며 첨두홍수도달시간은 1시간이내에서 실측값과 일치하였다.

3. 이 연구에서 개발된 모형은 구조가 간단하고 매개변수가 2가지이며 매개변수초기값 산정이 매우 편리하다. 또한 매개변수 초기값을 매시간 보정할 수 있도록 구성되어 있어 관측자료가 없는 중·소하천에도 적용 가능하다.

참 고 문 헌

1. 건설부, 형산강 홍수 예경보 프로그램 개발, 1994.
2. 건교부, 금강수계 유량측정조사 보고서, 2000
3. 김태철, 노재경, 박승기, 유역토양수분추적에 의한 유출모형 한국농공학회지 33(4), pp.61-72, 1991.
4. 농림부, 관개저수지의 한발 및 홍수 예측기법과 관리지침 개발,1999
5. 농어촌진흥공사, 한국하천의 일 유출량 추정 실용화모형(Ⅰ),1990
6. 문종필, 중·소하천 및 관개저수지의 실시간 홍수예측모형, 충남대학교 박사학위논문, 2000