최적화기법을 이용한 관개저수지의 실시간 홍수예측모형

Real-time Flood Forecasting Model for Irrigation Reservoir Using Simplex Method

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

Abstract

The basic concept of the model is minimizing the error range between forecasted flood inflow and actual flood inflow, and accurately forecasting the flood discharge some hours in advance depending on the concentration time(Tc) and soil moisture retention storage(Sa).

Simplex method that is a multi-level optimization technique was used to search for the determination of the best parameters of RETFLO (REal-Time FLOod forecasting)model. The flood forecasting model developed was applied to several strom events of Yedang reservoir during past 10 years. Model perfomance was very good with relative errors of 10% for comparison of total runoff volume and with one hour delayed peak time.

Ⅰ. 서 론

최근 이상기후에 의한 집중호우로 홍수피해는 날로 심각해지고 있다. 홍수발생에 대비한 방재업무와 홍수시 수자원을 효율적으로 관리하기 위해 보다 정확한 홍수량 예측업무가 절실하게 되었다.

이수를 목적으로 운영되는 관개저수지는 대부분 유입하천이 중·소하천이므로 예지시간이 짧고 홍수조절용량도 적어서 홍수조절에 부담이 크다. 또한 홍수조절에 대한 실패는 곧바로 용수공급량의 부족으로 이어질 수 있다. 그러므로 보다 적극적으로 용수를 확보하고 홍수피해를 최소화하기 위해서는 강우-유출의 상관관계에 의한 복잡한 유역반응을 단순화하고 개념화하여 신속하고 정확하게 홍수유입량을 예측하여, 홍수조절을 위한 댐수문의 효율적 조작과 지역주민 및 유관기관에 홍수정보를 제공하여 홍수피해를 최소화하여야 한다.

이 연구의 목적은 퍼스컴을 이용하여 행정자치부의 방재시스템에서 강우와 수위자료를

2000년도 한국농공학회 학술발표회 논문집(2000년 10월 14일)

Off-line 이 아닌 On-line으로 전송받아 Kalman filter기법의 기본개념에 입각한 Simplex기법에 의하여 실시간으로 자동매개변수를 추정하고 SCS 합성단위유량도를 적용하므로써 정확하고, 신속하게 실시간 홍수유입량을 예측하는 Black box형 홍수예측모형을 개발하여 보다 효율적인 홍수 예·경보 체제를 구축하는데 있다.

Ⅱ. 자료 및 방법

2.1 적용자료

실시간 홍수예측모형을 적용하기 위하여 충남 예산군에 위치한 관개저수지가 있는 예당지 유역을 선정하였다.

예당지는 관개저수지로 유역면적이 373㎢, 관개면적 8,788ha로 비교적 크고 홍수도달시간이 길고 실시간 홍수예측에 의한 홍수 예·경보 및 수문조작이 절실하게 요구되는 바, 적용대상유역으로 선정하였다.

예당지 유역에서 과거 10년동안에 발생했던 1989년 9월14일~15일, 1992년 8월 26일~28일, 1995년 8월 23일~26일의 3가지 호우사상에 대한 홍수관측자료를 모형의 보정자료로서 적용하였으며 1999년 8월 2일~4일 예당지 유역에 발생한 호우사상을 모형의 검정자료로 사용하였다.

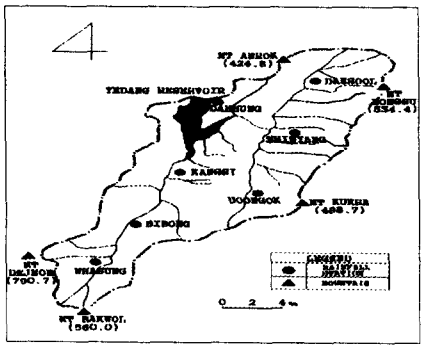

Fig.1. Watershed map of Yedang reservoir

가. 기상자료

예당지 유역내에는 1996년 이후 청양군, 비봉면, 화성면, 운곡면 및 예산군, 대술면, 광시면, 대흥면 등 7개 면 사무소에 자기강우계로 강수량을 관측하고 있다. 관측자료는 On-line으로 행자부 방재망으로 자동 전송된다. 이 연구에서는 전송되는 자료를 실시간으로 전송받아 Thiessen 법으로 유역평균강수량을 산정하여 적용하였다.

나. 수문자료

모형 적용을 위하여 홍수발생시 홍수에 대비한 저수지 유입량과 저수위, 이에 따른 방류량 자료 등을 분석하였다. 또한 홍수조절을 수행한 실적이므로 분석상 매우 의미가 있으며 실시간 홍수예측모형개

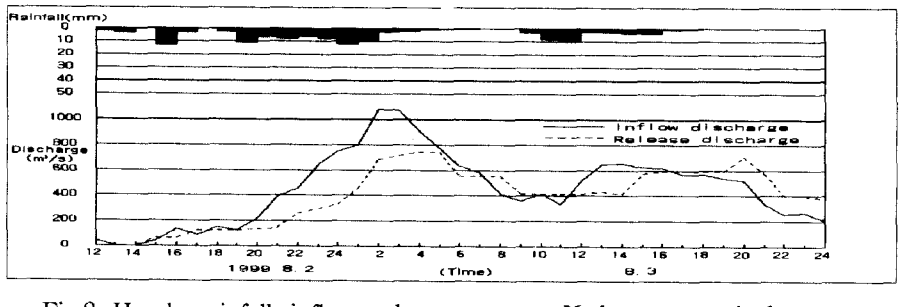

Fig.2. Hourly rainfall, inflow, release curve at Yedang reservoir from August 2 to 4 in 1999

발을 위한 보정 및 검정의 기초자료로서 사용하였다.

2.2 모형의 개발

2.2.1 모형의 기본개념

이 실시간 홍수예측모형은 Fig.3과 같이 강우량, 하천수위, 저수위자료가 On-line으로 실시간 입력되기 때문에 자료가 매시간 새롭게 변화한다. 그러므로 시간에 따른 자료변화에 적응할 수 있도록 순환적으로 각 시간단계마다 계산하고 동시에 시스템의 상태를 추정할 수 있는 Kalman Filter개념을 Simplex method에 도입하였다. 유역토양수분상태 S_a와 홍수도달시간의 초기값을 Simplex method로 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.

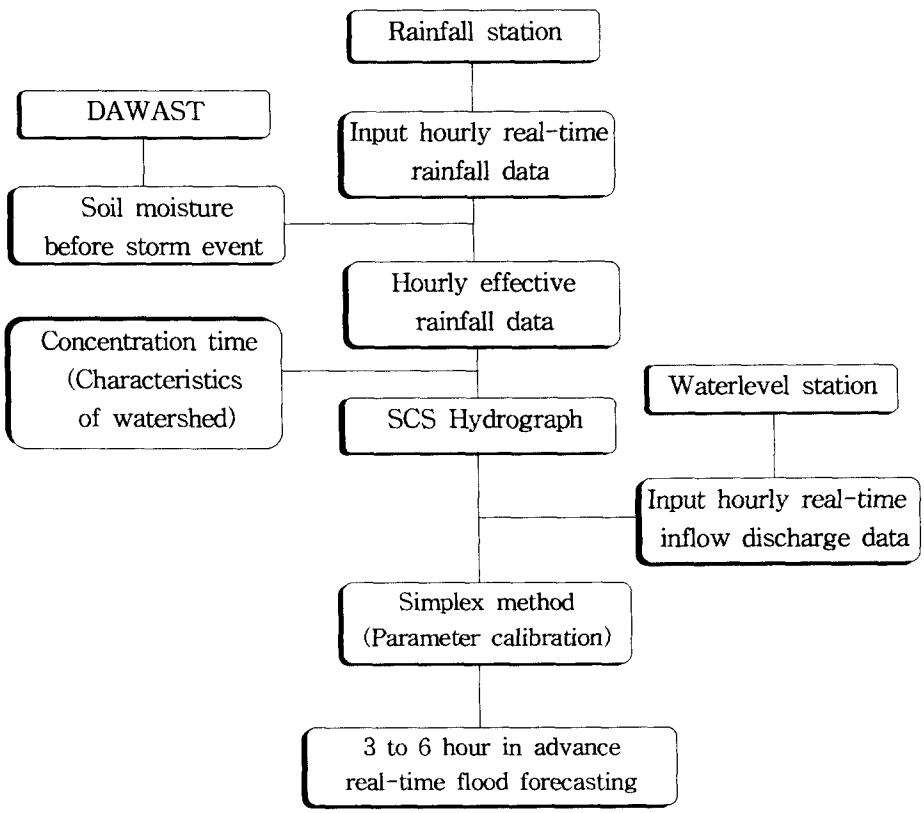

Fig.3. System of real-time flood forecasting model

2.3. 모형의 보정

2.3.1 보정방법

실시간 홍수예측(RETFLO)모형의 보정에는 2개의 매개변수(Sa, Tc)에 대한 예민도분석

을 실시하였고 최적화기법으로 최적의 매개변수 조합을 선택하였다. 보정방법은 Kalman Filter기법의 기본개념을 도입하여 매시간 변화하는 자료에 대한 오차를 수정할 수 있도록 제약조건이 없는 비선형 Simplex method를 순환적으로 적용시켜 매개변수를 새롭게 보정할 수 있도록 하였다.

가. 목적함수

RETFLO모형은 홍수유출모형이므로 수문곡선의 홍수부에 상대적 비중이 더 큰 목적함수를 사용하였다.

$$F=\sum_{i}^{n}(Q_{oi}-Q_{ei})^2 \qquad (1)$$

여기서, n은 보정기간, Q_o 는 관측유출량(mm), Q_e 는 추정유출량(mm)이다

나. 매개변수의 예민도 분석

이 연구에서는 매개변수의 변화에 대한 모형의 반응 예민도를 나타내는 방법을 택하였다. 매개변수는 기준상수에 대하여 5%간격을 -30%~+30% 범위에서 변화하였으며 예당지에 적용한 결과 Fig.4와 같이 총유출량의 변화에 Sa가 Tc 보다 민감하였다.

$$S_i = 100\ [\ (\ Z_{ij}-Zb_i\ )/(\ Zb_i|\ PC\ |\ )\ ] \qquad (2)$$

여기서, S_i: 매개 변수 i 에 대한 예민도

Z_{ij} : 매개 변수 i 의 j 번 상수에 대한 모형의 반응

Zb_i : 매개 변수 i 의 기준 상수에 대한 모형의 반응

|PC| : 매개변수의 절대 변화 퍼센트

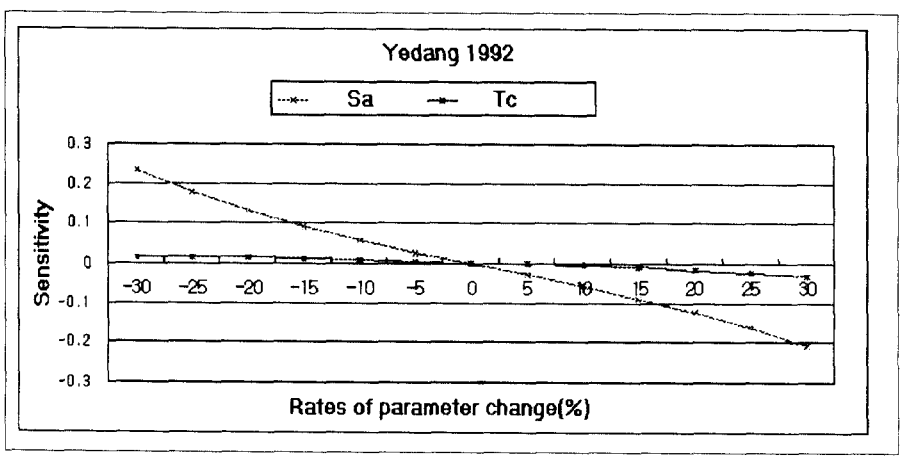

Fig.4. Sensitivity plot at Yedang reservoir in 1992

다. Simplex method

매개변수의 결정을 위한 최적화 기법은 경사법, 직접탐사법이 있으며 경사법은 수렴속도는 빠르지만 목적함수에 따라 수렴정도가 다르며 직접탐사법은 수렴속도는 느리지만 탐색방향에 따라 최적의 위치로 수렴되는 속성을 가지고 있다.

이 연구에서는 직접탐사법중의 하나인 비선형 Simplex method를 택하여 매개변수 보정

을 실시하였다. Simplex method는 Nelder 와 Mead(1965)에 의하여 개발되었으며 Simplex란 다변량이 형성하는 점으로 이루어진 다면형을 말하며 2차원 함수의 Simplex는 삼각형을 이룬다. Simplex method는 목적함수가 최대인 꼭지점을 버리고 반사, 확장, 축소, 수축등의 과정을 거치면서 목적함수가 최소로 되면서 Simplex가 허용오차의 크기로 될 때까지 반복하여 최적의 매개변수 조합을 찾는 방법이다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

3.1 매개변수 추정에 의한 홍수유입량 예측

모형 매개변수인 잠재저류량과 홍수도달시간을 자동보정하여 매시간 feed-back하여 홍수유입예측량과 관측유입량과의 오차를 최소화하는 과정을 1995년 8월23일 10시부터 8월26일의 24시까지의 보정절차를 대표적으로 예시하면 Fig.5, 6과 같으며 1995년 8월23~26일의 시간별 예측 홍수수문곡선을 대표적으로 예시하면 Fig.7과 같다

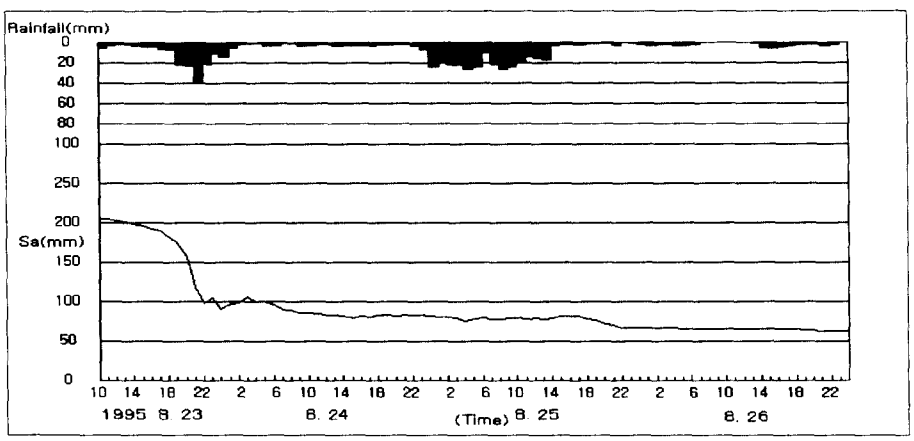

Fig.5. Retention storage calibrated automatically for storm event occurred from August 23 to 26 in 1995

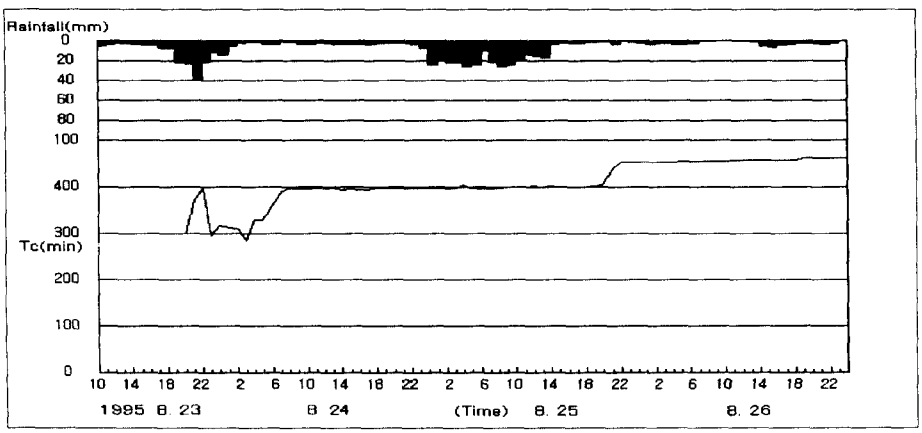

Fig.6. Concentration time calibrated automatically for storm event occurred from August 23 to 26 in 1995

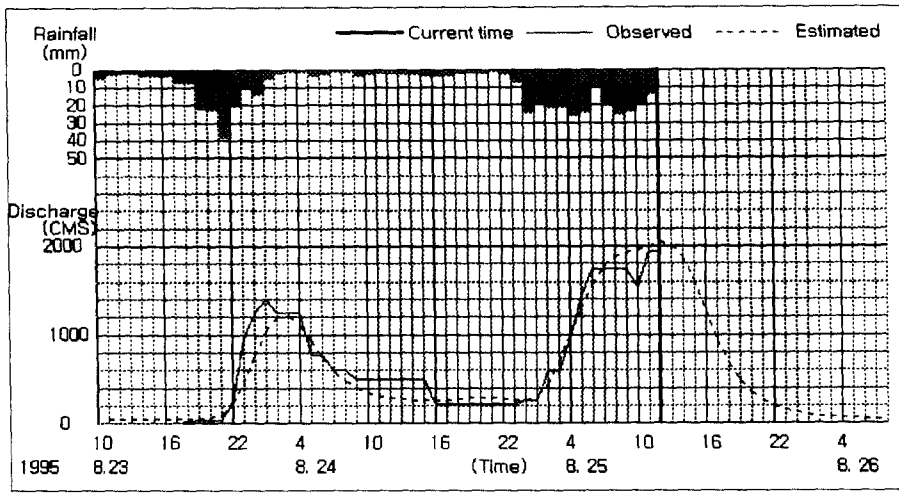

Fig.7. Flood forecasting process for each hour at Yedang reservoir from August 23 to 26 in 1995 (1995. 8. 25 12:00)

3.2 적용결과의 고찰

과거 10년동안의 보정기간과 검정기간에 발생된 홍수사상에 대하여 관측된 홍수량과 본 모형에 의하여 추정된 홍수량을 비교하였으며 그 결과는 실측치와 높은 재연성을 보였다. 매개변수의 자동보정을 통하여 최적의 조합으로 수렴하는 과정을 거치면서 매우 정확하게 홍수유입량을 예측하고 있다. 첨두홍수도달시간은 거의 일치하고 있으며 총유출용량에 대한 상대오차의 범위는 -10~16.5%의 값으로 나타났고 첨두홍수량은 -6.7~11.6%의 값의 범위로 매우 양호한 결과를 나타냈으며 홍수사상별 비교값은 Table 1과 같다.

Table 1. Calibrated parameters combination and relative errors applied to storm events at Yedang reservoir

Storm event period	Calibrated Parameter		time-to-peak	Relative error	
	Sa(mm)	Tc (minute)		Total volume	Peak discharge
1989.9.15~16	186	539	well - fitted	+16.5%	3.48%
1992.8.26~28	185	361	1 hour delayed	+6%	11.6%
1995.8.23~26	173	462	well - fitted	-8.9%	-6.7%
1999.8.2 ~4	180	312	1 hour delayed	-10%	-2.8%

Ⅳ. 결론

퍼스컴을 이용하여 행정자치부의 방재시스템으로부터 강우와 수위자료를 전송받아,

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 예당지에 적용하여 모형을 검정하였으며, 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 행자부 방재망으로부터 강우량을 On-line으로 전송받아 유역의 토양수분상태(Sa)와 홍수도달시간(Tc)을 매개변수로 선택하여 최신 수집되는 관측자료를 가장 잘 반영하는 최적의 매개변수값을 추정하여 SCS합성단위유량도로 홍수유입량을 예측하였다.

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

3. Kalman Filter 기법은 시스템 오차가 시간에 따라 변화하는 시스템의 상태변화에 적응하여 순환적으로 각 시간단계마다 계산하고 동시에 시스템의 상태를 추정할 수 있는 이론이다. Kalman Filter의 기본개념을 Simplex method에 적용시켜 매시간 변화하는 자료에 대한 오차를 수정하여 매개변수를 새롭게 추정할 수 있도록 하였다.

4. 5일 선행강우에 의한 AMC-I, II, III에 따라 SCS 유출곡선지수으로부터 유효우량을 산정하는 것은 부정확하며, 이 모형에서는 유역의 토양수분상태의 변화를 연속적으로 파악하여 보다 정확하게 유효유량을 산정할 수 있는 새로운 개념의 유출곡선지수를 개발하여 적용하였다.

5. 현재 국내의 홍수예측모형으로 사용되고 있는 저류함수법은 매개변수가 5가지이고 신뢰성 있는 매개변수 초기값을 결정하기 위해서 는 다수의 과거자료를 필요로 한다. 이 연구에서 개발된 모형은 구조가 간단하고 매개변수가 2가지이며 매개변수초기값 산정이 매우 편리하다. 또한 매개변수 초기값을 매시간 보정할 수 있도록 구성되어 있어 관측자료가 없는 중·소하천 및 관개저수지에도 적용 가능하다.

6. 관개저수지에서 홍수유입량 예측이 가능하므로 적절한 방류량을 제시하는 저수지 수문조작모형을 개발할 수 있다. 또한, 방류량에 따른 저수지 상, 하류의 침수피해를 최소화할 수 있는 침수예측모형을 개발한다면 보다 정확하고 신속한 관개저수지의 홍수관리가 가능하게 될 것이다.

참 고 문 헌

1. 건설부, 1974, 홍수량 추정을 위한 합성단위도 유도 연구보고서.
2. 건설부, 1994, 안성천 홍수 예경보 프로그램 개발.
3. 김태철, 노재경, 박승기, 1991, 유역토양수분추적에 의한 유출모형 한국농공학회지 33(4), pp.61-72.
4. 정동국, 이길성, 1994, 강우-유출모형을 이용한 실시간 홍수예측 (I) : 이론과 모형화, 한국 수문학회지 27(1), pp.89-99.
5. Nelder, J. A. and R. Mead, 1965, A simplex Method for Functional Minimization, The computer Journal 9, pp.308-313.