

유전자 알고리즘을 이용한 저류함수모형의 매개변수 추정에 관한 연구

A Study on Parameters Estimation of Storage Function Model Using the Genetic Algorithms

박 봉 진* · 차 형 선** · 김 주 환***

Park, Bong-Jin · Cha, Hyung-Sun · Kim, Ju-Hwan

Abstract

In this study, the applicability of genetic algorithms into the parameter estimation of storage function method for flood routing model is investigated. Genetic algorithm is mathematically established theory based on the process of Darwinian natural selection and survival of fittest. It can be represented as a kind of search algorithms for optimal point in solution space and make a reach on optimal solutions through performance improvement of assumed model by applying the natural selection of life as mechanical learning province. Flood events recorded in the Daechung dam are selected and used for the parameter estimation and verification of the proposed parameter estimation method by the split sample method. The results are analyzed that the performances of the model are improved including peak discharge and time to peak and shown that the parameter R_{sa} , and f are most sensitive to storage function model. Based on the analysis for estimated parameters and the comparison with the results from experimental equations, the applicability of genetic algorithm is verified and the improvements of those equations will be used for the augmentation of flood control efficiency.

요 지

본 연구에서는 자연계의 적응 및 도태에 의한 Darwin의 진화과정을 수학적으로 체계화시킨 유전자 알고리즘 (genetic algorithm)을 다목적법의 함수추적모형으로 사용되고 있는 저류함수법의 매개변수 추정에 적용하였다. 유전자 알고리즘은 생명체의 자연도태 원리를 수학적인 학습영역으로 적용한 탐색 알고리즘의 일종으로 매개변수의 추정은 개체유전과 적자생존법칙을 통해 설정된 모형의 성능을 개선시켜 나감으로써 최적값에 도달하게 된다. 수문 순환계의 복잡한 과정을 개념적으로 모형화한 저류함수모형에 대한 유전자 알고리즘의 적용성을 평가하기 위하여 대청댐의 홍수기록을 선정하여 매개변수를 조정하고 검증에 위하여 사용하였다. 여기서, 각 홍수사상은 기존의 경험공식에 의해 산정된 매개변수값으로 모의하였고 유전자 알고리즘에 의한 매개변수의 보정은 50세대로 한정하여 3회씩 실시하여 비교·분석하였다. 그 결과 유전자알고리즘을 적용했을 때에 보정전과 비교하여 첨두홍수량 및 첨두홍수량의 도달시간 등 모든 면에서 향상되었으며 민감도 분석결과에서는 매개변수 R_{sa} , f 의 민감도가 가장 큰 것으로 나타났다. 이를 토대로 수문계에서 강우-유출모형인 저류함수법의 매개변수 산정에 대한 유전자 알고리즘의 적용성을 입증하였으며, 저류함수모형의 적용시 매개변수 산정을 위하여 사용되고 있는 경험공식과 비교·검토함으로써 홍수조절업무에 개선에 활용하고자 하였다.

Keywords : genetic algorithm, selection, crossover, mutation, storage function model

* 한국수자원공사 특수사업본부 굴포천건설사무소 과장

** 한국수자원공사 낙동강사업본부 건설처 과장

*** 한국수자원공사 수자원연구소 선임연구원

1. 서 론

홍수시 방재 및 수공구조물의 효율적인 운영을 위해서는 최대수위와 도달시간, 유속 및 위험수위의 지속시간, 침수범위 등을 예보함으로써 그로 인한 피해를 감소시킬 수 있다. 특히, 다목적댐의 경우 홍수조절효과를 높이기 위해서는 댐으로 유입되는 홍수량을 신속 정확히 예측하여 댐의 홍수조절용량을 최대한 활용하여야 한다. 그러나 수문현상은 그 자체가 대단히 복잡하고 복합적인 요소를 내포하고 있으므로 물의 순환과정을 단순화한 유출모형을 구성하여 홍수예측을 하게 된다. 홍수량의 정확한 예측을 위해서는 적절한 모형을 선정하고 적용하게 될 유역의 특성을 고려하여 적합한 매개변수를 추정하는 것이 매우 중요하다. 유역의 복잡한 물리적 현상을 수학적으로 모형화하여 홍수를 예측하고자 하는 시도는 1932년 Sherman의 단위도로부터 시작되어 지금까지 여러 방면으로 개발되어 왔으며 최근에는 수학적으로 모형화하기 어려운 부분에 대한 문제해결을 위하여 퍼지(Fuzzy), 신경망(Neural Network), 유전자(Genetic) 및 진화(Evolution) 알고리즘 등 인공지능 분야의 이론을 도입하여 홍수예측모형을 개발하거나 기 개발된 예측모형의 매개변수를 추정하기 위한 연구가 진행되고 있다(김주환, 1993; 이정규와 이창해, 1996).

현재 국내 하천의 홍수예측을 위한 홍수예경보시스템과 다목적댐의 홍수조절을 위하여 사용되고 있는 수문학적 모형으로는 저류함수모형이 주로 사용되고 있으며 이는 댐 또는 하천유역의 저류효과를 고려한 것이다. 저류함수모형의 매개변수 추정방법은 홍수수문자료 등의 부족으로 인하여 일본의 利根川공식과 木村공식을 주로 사용하고 있으나, 우리나라의 유역특성을 충분히 반영하지 못하는 등 많은 문제점을 가지고 있다. 따라서 그동안 이러한 문제점을 해결하고 우리나라 유역특성에 적합한 매개변수를 산정하는 데 많은 노력을 기울여 왔지만 홍수 수문자료의 부족과 이 모형이 가지는 자체의 한계성 등 여러가지 문제점으로 인하여 아직까지 만족할 만한 성과를 얻을 수 없었다. 우리나라에서는 유출모형의 매개변수를 자동보정기법으로 추정하기 위하여 pattern search(고석구 등, 1991), 최적화기법(심순보, 1992), 퍼지기법(이정규와 이창해, 1996) 등의 다양한 연구가 진행되고 있다. 외국에서는 최근 유출모형의 자동보정을 위하여 유전자 알고리즘(Murphy와 Simpson, 1992; Shie 등 1995; Wang, 1991)의 적용에 관한 연구논문들이 발표되고

있다. 유전자 알고리즘은 Holland(1975)에 의해 최초로 제안되었으며, Goldberg(1987)는 이를 관로의 최적운영을 위하여 도입하였다.

본 연구에서는 그동안 저류함수법의 매개변수추정에 사용하여 왔던 利根川의 경험공식을 바탕으로 유전자 알고리즘을 적용하여 대청댐의 과거 홍수사상을 검토하고, 대청댐 유역에 적합한 매개변수를 산정하여 홍수에 측 및 홍수조절 업무개선에 활용하고자 하였다.

2. 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘은 Darwin의 적자생존에 바탕을 둔 가장 많이 알려진 진화이론의 알고리즘이다. 이는 생명체의 자연도태를 기계적인 학습영역에 적용한 탐색 알고리즘의 일종으로 Holland에 의해 1975년에 최초로 제안되었다. 유전자 알고리즘은 무작위로 초기모집단(initial population)을 형성하고 이들을 부모세대로 하여 선택(selection), 교차(crossover), 돌연변이(mutation) 등의 연산과정을 거쳐 부모세대보다 진화한 새로운 세대를 생성하게 된다(그림 1 참조).

2.1 모집단

일반적으로 전통적인 최적화 탐색기법은 점에서 점으로 이동하면서 최적해를 찾게되지만 유전자 알고리즘은 모집단에서 다른 모집단으로 이동하면서 최적해를 찾게 된다. 유전자 알고리즘은 무작위로 선택된 염색체들로 초기모집단을 형성함으로써 시작된다. 염색체는 유전자라고 불리는 유한개의 특별한 문자코드로 구성된다. 일반적으로 유전자는 "1"과 "0"의 2개의 문자로 구성된 2진수(binary code)를 변환하여 생성하게 되는데 염색체는 이들 "1"과 "0"으로 구성된 유전자들의 집합이다.

```
* Genetic Algorithms Procedure with Fortran
t=0;
call initialize Population(t)
call evaluate Population(t)
do while (termination condition not satisfied)
  t = t+1
  call select Population(t)
  call mutate structures in Population(t)
  call crossover structures in Population(t)
  call evaluate structures in Population(t)
end do while
stop
end.
```

그림 1. 유전자 알고리즘 프로그램의 수행절차 예

염색체의 실제값 α 와 길이가 L 인 2진문자 B_L 과 의 관계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\alpha = \alpha_{Min} + \frac{\alpha_{Max} - \alpha_{Min}}{2^L - 1} \cdot \sum_{i=1}^L b_i \cdot 2^{i-1} \quad (1)$$

$$\alpha \in R, \quad \alpha_{Min} \leq \alpha \leq \alpha_{Max} \quad (2)$$

$$B_L = (b_1, b_2, \dots, b_L), \quad b_i \in \{0, 1\}, \quad \forall i \quad (3)$$

α_{Min} 과 α_{Max} 사이의 실제값 α 는 0과 $2^L - 1$ 사이의 L -비트-길이의 2진수의 간격으로 나타낼 수 있다.

2.2 선택(selection)

선택은 Charles Darwin의 적자생존의 철학을 적용하는 연산자의 하나이다. 주어진 환경에 가장 적합하고, 가장 강력한 유전자가 더 많은 생존의 기회를 갖게 되며 다음 세대를 구성하기 위하여 선택되게 된다. 새로운 세대는 구세대의 염색체들 중에서 적합도에 비례하여 선택하여 새로운 세대를 형성하게 된다. 모집단에서 부모의 선택은 재생의 기회를 주기 위한 것이다. 대체로 이들의 선택된 부모의 모집단은 보다 나은 유전형질(적합성)을 갖고 있다. Holland는 이 선택되는 부모의 최적화를 위하여 상대적 적합성에 따라 비례선택(proportional selection)의 필요성을 주장하였다. 한 세대의 n 개의 염색체들 중에서 어떤 염색체 k 가 선택될 가능성 P_s 를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$P_s(k) = \frac{f_k}{\sum_{j=1}^n f_j} \quad (4)$$

여기서 f_k 는 다른 염색체들과의 상대비교에 의한 적합도, f_j 는 j 번째 염색체의 적합도이다. Goldberg는 적합도에 따라 가중치를 둔 biased roulette wheel에서의 선택방법을 적용하였다. 주어진 환경에서 적합한 염색체는 더 넓은 biased roulette wheel의 면적을 차지하여, 더 많은 선택의 기회를 갖게 되는 원리이다.

2.3 교차(crossover)

교차는 한 쌍의 염색체가 유전형질을 서로 교환하는 유전학 기법의 하나이다(그림 2 참조). 선택과정으로부터 얻어진 모집단에 있는 부모중에서 식 (5) 및 (6)으로 이루어진 한 쌍이 무작위로 추출되어 교차라는 과정을 거치게된다.

$$\vec{g}_s(t) = (g_{s,1}, \dots, g_{s,L}) \quad (5)$$

$$\vec{g}_v(t) = (g_{v,1}, \dots, g_{v,L}) \quad (6)$$

선택된 염색체가 재결합하기 위한 교차위치는 무작위

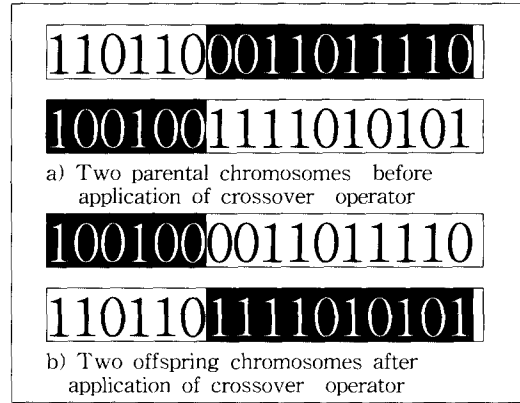


그림 2. 교차의 모식도

로 선택되며, 교차의 시행후 식 7 및 8과 같은 두 가지 새로운 자손 $\vec{g}_s'(t)$, $\vec{g}_v'(t)$ 를 형성하게된다.

$$\vec{g}_s'(t) = (g_{s,1}, \dots, g_{s,x-1}, g_{v,x}, g_{v,x+1}, \dots, g_{v,L}) \quad (7)$$

$$\vec{g}_v'(t) = (g_{v,1}, \dots, g_{v,x-1}, g_{s,x}, g_{s,x+1}, \dots, g_{s,L}) \quad (8)$$

여기서 $x \in \{1, \dots, L\}$ 은 교차위치를 나타내는 난수로 균등분포를 따른다. 교차에 의해 생성된 자손은 그들의 부모를 대신하여 새로운 세대를 형성하게 된다.

2.4 돌연변이(mutation)

돌연변이는 아주 작은 확률로 염색체 내의 비트 하나가 변환하여 발생하는 염색체의 우연적이고 임의적인 변화이다(그림 3 참조). 따라서 다른 연산자에 비하여 그 중요성이 다소 떨어지므로 부 연산자(background operator)로 생각되고 있다. Goldberg(1989)는 돌연변이의 발생확률을 0.01로 제한한바 있으며, 발생위치는 무작위로 선택된다.

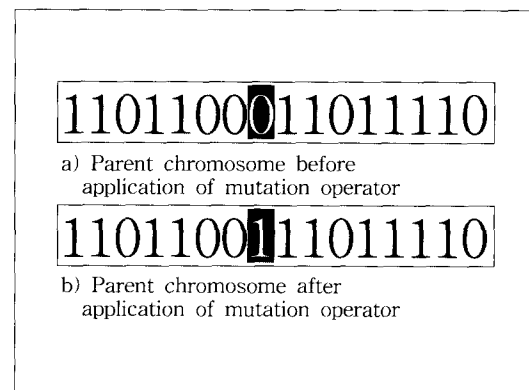


그림 3. 돌연변이의 모식도

3. 유출모형의 적용

3.1 저류함수법

홍수유출계산을 위한 저류함수법(Kimura, 1961)은 유역과 하도에서의 유출량과 저류량의 관계를 표시하는 저류함수를 홍수파의 운동방정식에 대입하여 홍수파의 연속방정식을 계산함으로써 홍수유출량을 결정하는 방법이다. 저류함수법은 홍수유출을 Manning 공식으로 표시할 수 있는 지표면 유출이라 가정하여, 유역과 하도구간의 저류량 S 를 유출량의 Q 의 지수함수로 나타내었다.

$$S_l = KQ^p \quad (9)$$

식 (9)는 홍수파의 운동방정식으로써 S_l 은 유역의 저류량, Q 은 유역의 유출량, K , p 는 유역 및 하도의 저류상수이다.

유역에 대한 연속방정식은 다음의 물수지방정식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{1}{3.6} f \cdot r_{ave} A - Q_l = \frac{dS_l}{dt} \quad (10)$$

여기서 f 는 유역유입계수, r_{ave} 는 시간당 유역 평균강수량, A 는 유역면적(km²), $Q_l(t) = Q(t + T_l)$ 로서 유역의 지체시간 T_l 을 고려한 유역으로부터의 직접유출량(m³/sec), S_l 은 유역저류량(m³)이다. 하도에 대한 연속방정식은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\sum_{j=1}^n f_j I_j - Q_l = \frac{dS_j}{dt} \quad (11)$$

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

3.2 대상유역 및 특성

대청댐은 하구로부터 약 150 km 상류인 금강본류의 중하류부에 위치한 곳으로 유역면적은 금강유역의 약 42%인 4,134 km²이며, 총저수용량이 14억 9천만 m³으로, 유역내의 급증하는 대도시의 생·공용수와 관계용수 등 연간 총 2억5천만 m³의 용수를 공급하고 있다. 홍수조절용량 2억5천만m³을 확보하여 100년 빈도 홍수량 9,500 m³/sec을 5,500 m³/sec로 조절 금강하류부의 홍수피해를 절감시키고, 90,000 kW의 발전시설용량으로 매년 1억9천6백만~2억4천만 kWh의 전기를 생산하고 있다.

3.3 유역추적을 위한 유역 및 하도분할

저류함수법을 적용하기 위해서는 전체유역과 하도를 적절한 크기의 소유역과 하도구간으로 분할하여 상류에서 하류측 방향으로 홍수추적이 이루어져야 한다. 홍수추적을 위한 T/M 수문관측소는 우량관측소와 수위관측소로 구분할 수 있으며 대청댐 유역에 우량관측소 15개소와 수위관측소 5개소로 구성되어 있다. 따라서 금번에는 대청댐 유역을 21개의 소유역과 13개의 하도로 분할하였다(다목적댐 홍수유출해석 및 홍수기 저수지 운영프로그램 설명서, 1993).

4. 유전자 알고리즘의 적용

4.1 유전자 알고리즘에 의한 매개변수의 개선방법

저류함수법에 의한 홍수유출계산에 사용되는 매개변수는 유역유출과 하도유출의 두 가지 형태로 구분할 수 있다. 유역의 유출을 결정하기 위한 저류함수의 상수에 해당하는 저류상수 K , P 및 지체시간(T_l)과 유출상태가 포화점에 이르기까지의 1차 유출률(f_1), 포화점까지의 누가우량인 포화우량(R_{sa})과, 하도구간의 유출현상을 해석하기 위한 하도구간의 저류상수 K , P 및 지체시간(T_l)을 결정하여야 한다. 본 연구에서는 유전자 알고리즘을 적용하여 다음과 같은 순서로 저류함수모형에 사용되는 매개변수를 개선하였다.

첫째, 利根川유역의 경험식을 이용하여 각 소유역별로 저류함수의 매개변수를 산정하여(한국수자원공사, 1993), 초기값으로 설정하였다.

둘째, 이 매개변수값에 유전자 알고리즘을 적용하여 비율벡터 $A = (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n)$ 를 구하고, 이 비율벡터 값을 각각 소유역의 초기 매개변수에 식 (12)와 같이 곱하여 각 소유역의 새로운 매개변수를 산정하였다.

$$\theta_c = \theta_e \cdot A^T \quad (12)$$

여기서 첨자 n 은 매개변수의 개수, θ_e 는 경험공식으로 산정된 매개변수 K , P , T_l , f_1 , R_{sa} , K' , P' , T_l' 이며, θ_c 는 매개변수의 보정치이다.

셋째, 새로이 산정한 매개변수로 유출모형을 모의운영하여 홍수량을 산정하고, 과거의 홍수기록과 비교하여 적합성여부를 판정하였다. 위의 과정을 원하는 적합도를 얻을 때까지 반복하게 된다. 유출모형의 매개변수를 보정하기 위한 유전자 알고리즘의 적합도의 판단기준은 식 (13)과 같이 관측유량과 모의유량의 시간별 오

차의 제곱의 합(sum of square of residual : SSR)을 최소화하는 목적함수로 하였다.

$$\text{Minimize } f(E) = \sum_{i=1}^n (Q_o - Q_s)^2 \quad (13)$$

여기서 Q_o 와 Q_s 는 각각 관측유량과 모의유량을 나타낸다.

4.2. 유전자 알고리즘의 연산자

본 연구에 적용한 유전자 알고리즘의 연산자 값은 한 세대의 모집단 수를 45개, 교차될 확률을 0.6, 돌연변이의 발생 확률은 0.01로 하였다. 진화를 위한 발생 세대수는 각각 10세대, 20세대, 50세대, 100세대 등 유출모형을 모의운영하여, 90% 이상 진화(개선)되어 적합하다고 판단되는 50세대로 결정하였다. 저류함수모형을 시행착오방법으로 수행하여 각 홍수사상의 매개변수를 산정한 결과, 매개변수의 비율벡터값은 0.4에서 1.9 사이의 변화를 보여주었다. 따라서 저류함수모형에서 보정해야 할 매개변수는 유역 및 하도의 매개변수를 포함하여 모두 8개이므로 각 매개변수에 해당하는 유전자의 길이는 4비트로 결정하였다. 길이가 4비트인 유전자 하나가 생성할 수 있는 비율벡터는 16가지이므로 각 유전자의 형성에 필요한 비율벡터의 결정값(Decision value)을 표 1과 같이 선정하였다. 염색체 하나의 길이는 4비트인 유전자가 8개의 매개변수로 구성되므로 32비트가 된다. 표 2는 유전자 알고리즘에 의해 생성된 염색체의

표 1. 유전자형성에 필요한 비율벡터의 결정값

10진수	2진수	특성값
0	0000	0.4
1	0001	0.5
2	0010	0.6
3	0011	0.7
4	0100	0.8
5	0101	0.9
6	0110	1.0
7	0111	1.1
8	1000	1.2
9	1001	1.3
10	1010	1.4
11	1011	1.5
12	1100	1.6
13	1101	1.7
14	1110	1.8
15	1111	1.9

표 2. 매개변수의 결정값을 가진 유전자들로 구성된 염색체 예

매개변수	K	P	T_l	f_1	R_{sa}	K'	P'	T_l'
결정값	1.2	0.9	0.7	1.0	1.4	1.1	1.1	1.4
유전자	1000	0101	0011	0111	1010	1011	1011	1010
염색체	10000101001101111010101110111010							

하나로 매개변수의 결정값을 가지고 있는 예를 나타낸 것이다.

5. 적용결과

본 연구에서 대청댐의 홍수기록 중 12개 홍수사상을 선택하였다. 여기서 선정된 홍수사상중에서 8개의 홍수사상은 유전자 알고리즘을 적용하여 매개변수를 보정하고, 4개의 홍수사상은 매개변수 보정후 모형의 개선을 검증하기 위하여 사용하였다. 유전자 알고리즘에 의한 매개변수 보정을 50세대씩 3회를 실시하여 비교 분석한 결과, 그림 4에서 보는 바와 같이 유전자 알고리즘을 적용하였을 때의 모의운영 결과는 매개변수의 보정전과 비교하여 첨두홍수량 및 첨두홍수량 발생시간 등에서 상당히 향상되었다.

저류함수법의 매개변수들의 민감도는 K 와 P 가 가장 크다(한국수자원공사, 1991). 따라서 이들 매개변수들의 변화폭이 가장 클 것으로 예상하였으나, 금번의 분석 결과, R_{sa} 의 최대값이 1.9 최소값이 0.3으로 가장 큰 변화폭을 보였으며, 다음으로 변화폭이 큰 것은 f_1 으로 분석되었다(표 4 참조). 이들 매개변수는 포화 강우량과 1차 유출률에 관계된 매개변수들이다. 따라서 이정규와 이창해(1996)의 연구에서도 제시한 바와 같이 저류함수법은 포화우량과 유출률의 변화 등의 문제점을 우선적으로 개선하여야 할 과제로 분석되었다.

금번 연구에서 산정한 매개변수들의 평균값을 적용하여 매개변수 산정에 사용하지 않은 홍수사상 4개를 분석한 결과, 일부 홍수사상은 상당히 향상되었으나 일부 홍수사상은 크게 개선되지 않았다.

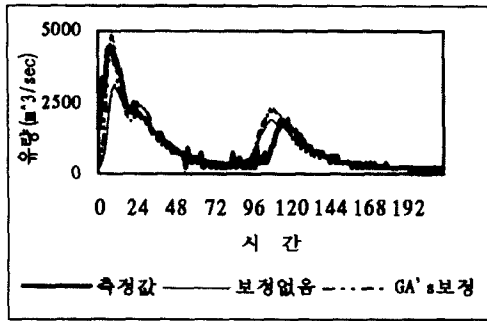
이것은 저류함수모형이 홍수사상별로 매개변수의 변화폭이 크기 때문이며 8개의 매개변수로는 대청댐 유역의 각 소유역별 특성을 충분히 반영하지 못함을 알 수 있었다. 따라서 과거의 홍수수문자료를 면밀히 검토하여 적합한 매개변수를 산정하고, 홍수특성에 따라 이 매개변수들을 홍수조절 업무에 활용하여야 할 것이다.

표 3. 유전자 알고리즘에 의한 모의운영결과

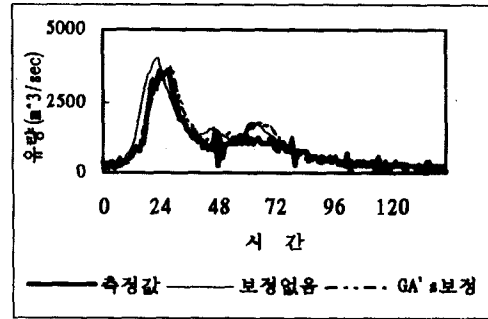
홍수사상	모의 번호	Q_{max} (m ³ /s)	ΔQ (m ³ /s)	SSR	K	P	T_l	f_l	R_{sa}	K'	P'	T_l'
81.8.30.01 ~ 9.07.24 (Q_{max} : 4.444m ³ /s)	0	3,134	1,308	62×10^6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1	4,078	365	33×10^6	1.0	0.7	0.3	1.7	0.5	1.2	1.4	1.8
	2	4,138	305	40×10^6	1.0	0.7	0.4	1.6	1.7	0.5	0.7	1.5
	3	4,781	-337	39×10^6	1.0	0.6	0.4	1.8	1.3	0.6	1.3	1.5
'83.7.22.01 ~ 7.27.24 (Q_{max} : 3,602m ³ /s)	0	4,035	-432	26×10^6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1	3,348	254	12×10^6	1.2	0.7	0.8	1.4	1.8	1.4	1.4	1.7
	2	3,428	173	11×10^6	1.1	0.7	1.7	0.7	1.3	1.2	1.4	1.4
	3	3,693	-90	12×10^6	0.4	1.6	1.4	0.4	1.8	0.7	0.5	1.5
'84.9.02.08 ~ 9.07.24 (Q_{max} : 4,599m ³ /s)	0	4,525	73	18×10^6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1	4,189	413	6×10^6	1.2	0.8	0.3	1.0	1.8	1.5	1.2	1.5
	2	4,257	341	7×10^6	1.1	0.8	0.9	0.7	1.8	1.8	1.3	1.4
	3	4,241	357	7×10^6	1.1	0.9	0.6	0.3	1.9	1.6	1.6	1.3
'85.7.6.11 ~ 7.10.24 (Q_{max} : 3,669m ³ /s)	0	3,974	-305	28×10^6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1	3,173	496	32×10^6	0.8	1.8	0.6	1.3	0.3	0.9	1.4	1.4
	2	3,292	377	31×10^6	0.8	1.6	0.4	1.8	1.7	0.8	1.3	1.8
	3	3,298	371	10×10^6	1.3	0.6	1.7	0.7	1.4	1.5	1.1	1.3
'85.7.11.01 ~ 7.14.24 (Q_{max} : 2,929m ³ /s)	0	3,406	-407	10×10^6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1	2,875	54	5×10^6	0.9	1.0	1.1	0.7	0.6	1.0	0.4	1.1
	2	2,762	166	4×10^6	1.1	0.9	0.3	0.5	0.8	1.6	1.0	1.7
	3	2,682	246	4×10^6	0.9	1.1	0.3	1.0	1.7	0.2	1.2	1.7
'85.8.14.01 ~ 8.22.24 (Q_{max} : 4,887m ³ /s)	0	4,870	16	35×10^6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1	3,893	994	19×10^6	1.6	0.8	0.4	0.7	1.6	1.3	0.6	1.2
	2	3,877	1,1010	21×10^6	1.0	1.3	1.3	0.4	1.7	0.9	0.8	0.8
	3	3,810	1,077	30×10^6	1.1	1.3	0.5	1.8	0.5	1.0	0.9	1.1
'87.7.21.18 ~ 7.29.18 (Q_{max} : 5,009m ³ /s)	0	6,225	-216	61×10^6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1	4,439	570	29×10^6	1.8	0.5	0.3	1.2	1.7	0.6	1.3	1.7
	2	4,544	464	36×10^6	1.1	0.7	0.4	0.4	1.8	1.6	1.2	1.7
	3	4,741	268	32×10^6	1.4	0.7	0.3	1.3	1.8	1.8	1.7	1.7
'89.7.25.01 ~ 7.30.24 (Q_{max} : 4,490m ³ /s)	0	4,881	-391	54×10^6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1	4,544	330	15×10^6	1.8	0.7	0.4	0.3	1.2	0.4	1.2	1.4
	2	4,741	564	16×10^6	1.8	0.8	0.9	0.6	1.7	0.7	0.4	0.8
	3	4,410	389	16×10^6	1.5	0.9	0.3	0.7	1.7	1.4	0.7	1.2

표 4. 유전자 알고리즘에 의한 저류함수모형의 매개변수 특성

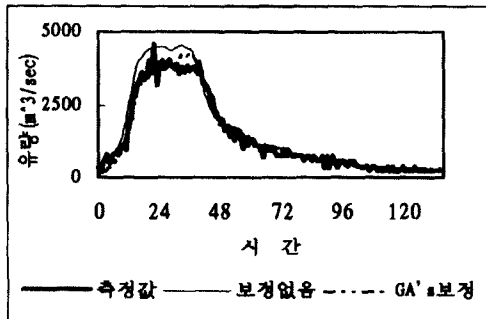
항목	K	P	T_l	f_l	R_{sa}	K'	P'	T_l'
최대	1.8	1.8	1.7	1.8	1.9	1.8	1.7	1.8
최소	0.4	0.5	0.3	0.3	0.3	0.2	0.4	0.8
평균	1.2	0.9	0.7	1.0	1.4	1.1	1.1	1.4
표준편차	0.336	0.342	0.447	0.505	0.490	0.455	0.366	0.280



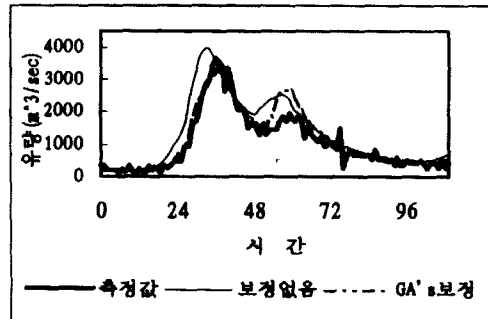
a) 1981. 7.11 홍수사상 분석결과



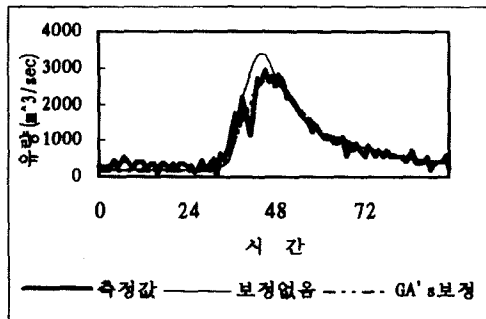
b) 1983. 7.27 홍수사상 분석결과



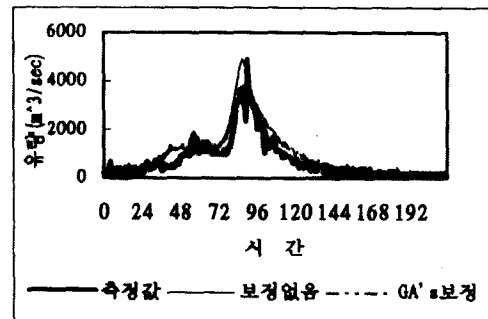
c) 1984. 9. 2 홍수사상 분석결과



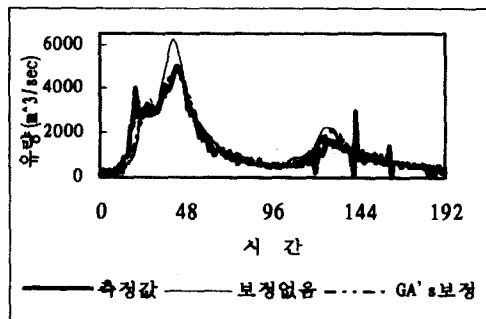
e) 1985. 7. 6 홍수사상 분석결과



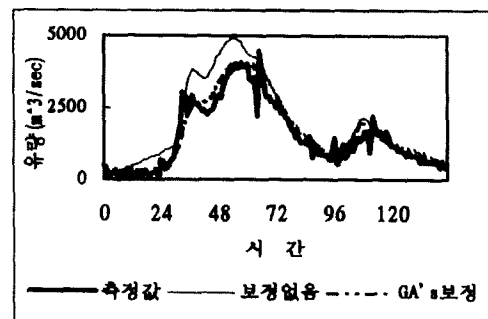
f) 1985. 7. 11 홍수사상 분석결과



g) 1985. 8. 14 홍수사상 분석결과

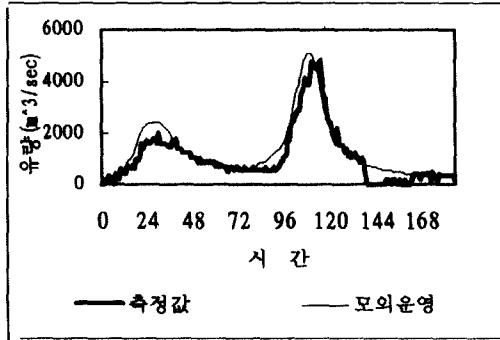


h) 1987. 7. 21 홍수사상 분석결과

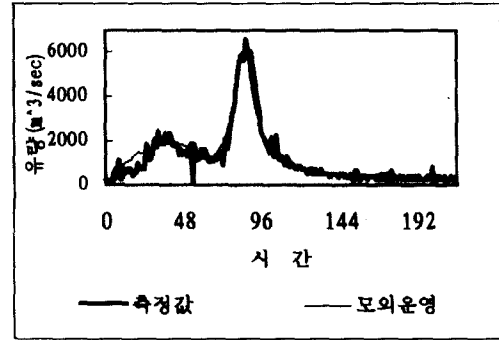


i) 1989. 7. 25 홍수사상 분석결과

그림 4. 유전자 알고리즘을 적용한 유출모형 모의운영 결과



(a) 1985. 9.15 모의 운영 결과



(b) 1987. 7.28 모의 운영결과

그림 5. 유전자알고리즘에 의한 매개변수 보정후 모의운영결과

6. 결 론

본 연구에서는 국내하천의 홍수에경보시스템의 운영과 다목적댐의 홍수조절관리를 위하여 사용되고 있는 수문학적 모형인 저류함수법의 매개변수 산정을 위하여 자연계의 진화 및 도태이론에 근거한 유전자 알고리즘을 도입·적용하여, 대청댐 유역의 과거 홍수사상을 검토하고, 유역에 적합한 매개변수를 산정하여 홍수예측 및 홍수조절에 활용하고자 하였다. 금번의 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 유전자 알고리즘을 적용한 대청댐의 모의운영결과에서는 매개변수의 보정전과 비교하여 침투홍수량 및 침투홍수량 발생시간 등에서 향상되어 저류함수모형의 최적 매개변수를 추정하기 위한 유전자 알고리즘의 적용성을 입증할 수 있는 것으로 분석되었다.

2) 유전자 알고리즘에 의해 추정된 매개변수의 특성을 분석한 결과 R_{sa} 가 최대값이 1.9 최소값이 0.3으로 가장 큰 변화폭을 보였으며, 다음으로 변화폭이 큰 것은 f_1 로 나타나 경우에 관련된 매개변수의 보정이 가장 중요한 것으로 분석되었다.

3) 저류함수모형의 매개변수 추정단계에서 이용되지 않은 4개의 홍수사상에 대하여 금번에 산정한 매개변수의 평균값을 적용하여 분석한 결과, 일부 홍수사상은 정확도가 상당히 향상되었으나 일부 홍수사상은 크게 개선되지 않았는데 저류함수모형은 홍수사상별로 매개변수의 변화폭이 커서 8개의 매개변수로는 대청댐 유역의 각 소유역의 특성을 충분히 반영하지 못하는 것으로 판단되며 이에 대한 모형의 검토가 필요하다.

따라서 과거의 홍수수문자료를 면밀히 검토하여 적합한 매개변수를 산정하고, 홍수특성에 따라 이 매개변수들

을 홍수조절 업무에 활용하여야 할 것이다. 또한 저류함수모형은 다목적댐의 홍수조절 예측모형으로 우리나라에서 중요한 역할을 하고 있으나 그 동안 축적된 홍수 수문자료를 바탕으로 저류함수법의 한계를 극복하고 우리나라의 홍수특성에 맞는 자체적인 모형의 개발 및 개선의 노력이 필요할 때라고 생각된다.

참 고 문 헌

- 고석규, 안상복, 윤재홍 (1991). "최적화 기법에 의한 저류함수 모형의 자동보정." 수자원연구소 연구발표논문집, 한국수자원공사, pp. 33-44.
- 김주환 (1993). 신경회로망을 이용한 하천유역의 수문학적 예측에 관한 연구. 박사학위논문, 인하대학교.
- 심순보 (1992). "최적화 기법에 의한 저류함수 유출모형의 자동보정." 대한토목학회논문집, 제12권, 제3호, pp. 127-137.
- 이정규, 이창해 (1996). "저류함수법의 시변성 매개변수 조정에 퍼지이론 도입에 관한 연구." 한국수자원학회지, 제29호, 제4권, pp. 149-159.
- 한국수자원공사 (1991). PC-그래픽을 이용한 다목적댐 홍수관리 종합 컴퓨터 시스템 개발연구. 연구보고서.
- 한국수자원공사 (1993). 다목적댐 홍수유출해석 및 홍수기 저수지 운영프로그램 설명서. 연구보고서.
- Goldberg, D. E. (1987). "Genetic algorithms in pipeline optimization." *J. of Computing in Civil Engineering*, ASCE, Vol. 1, No. 2, pp. 128-141.
- Goldberg, D. E. (1989). *Genetic algorithms in*

- search, optimization, and machine learning.*
Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- Holland, J. (1975). *Adaptation in natural and artificial systems.* The University of Michigan Press, Ann Arbor.
- Kimura, T. (1961). *Run-off calculation method.* Ministry of Construction and International Cooperation Agency.
- Murphy, L.J., Simpson, A.R. (1992). *Genetic algorithms in pipe network optimization.* Research Report No. R93, The University of Adelaide.
- Shie, Y.L., Weng, T.C. and Jaya S.R. (1995). "Peak-flow forecast with genetic algorithm and SWMM." *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, Vol. 121, No. 8, pp. 613-617.
- Wang, Q.J. (1991). "The genetic algorithm and its application to calibrating conceptual rainfall-runoff models." *Water Resources Research*, Vol. 27, No 9, pp 2467-2482.

〈최종본 도착일 : 1997년 7월 15일〉