

유전자 알고리즘을 이용한 장·단기 유출모형의 매개변수 최적화

Parameter Optimization of Long and Short Term Runoff Models Using Genetic Algorithm

김 선 주*, 지 용 근**, 김 필 식***

Sun Joo Kim, Yong Geun Jee, Phil Shik Kim

요 지

본 연구는 유역 물관리에 대한 기초연구로서 유전자 알고리즘(Genetic algorithm)을 사용하여 유역내 장기유출 및 단기유출모형의 매개변수를 최적화하므로 유역의 이·치수관리를 위한 과학적인 유출량산정에 목적이 있다. 장기유출모형은 수정 TANK모형, 단기유출모형은 저류함수모형을 선정하여 최적화를 실시하였다. 또한, 장기유출모형의 홍수기에 대한 부정확성을 보정하기 위해 평수기와 홍수기로 매개변수의 최적화를 실시하므로 수정 TANK모형의 단점을 보완하였다.

수정 TANK모형과 저류함수모형의 적용결과 각각 장·단기 유출량에서 실측값과 비교하여 유의성을 나타냈으며, 홍수시 수정 TANK모형과 실측유출량의 비교결과 최적화 전의 모의 보다 높은 상관성을 나타내므로 본 연구의 수정 TANK모형을 사용하여 유역의 효율적인 장기물수지분석이 가능하리라 판단된다.

핵심용어 : 수정 TANK모형, 유전자 알고리즘, 저류함수모형, 매개변수 최적화

1. 서론

수자원의 수요는 산업발달과 인구증가에 의해 지속적으로 증가하고 있으며, 이로 인해 한정된 수자원의 관리와 활용을 위한 많은 연구들이 수행되고 있다. 최근 예측의 정확성과 적용성 향상을 위해 최적화 기법을 사용하여 강우-유출모형의 매개변수를 자동 보정하므로 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있게 되었으며, 퍼지, 신경망, 유전자 및 진화 알고리즘 등과 같은 인공지능 분야의 이론을 도입하여 홍수예측모형을 개발하거나 개발된 예측모형의 매개변수를 최적화 하는 연구가 진행되고 있다.

본 연구는 유역의 효율적인 물관리를 위해 홍수의 실시간 예측에 적합한 것으로 알려져 있는 저류함수모형을 전역최적화 기법인 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)을 이용하여 최적화하였다. 또한 수정 TANK모형을 통해서 장기유출분석을 할 경우, 단기 강우사상 부분에서 과소하게 나타나는 문제점을 보완하기 위해 수정 TANK모형의 매개변수를 평수기와 홍수기로 구분하여 최적화시키고, 그 결과를 실측 유출량과 비교함으로써 수정 TANK모형의 단기 강우사상에 대해 발생하는 오차를 최소화하였다.

* 건국대학교 생명환경과학대학 교수 · E-mail : sunjoo@konkuk.ac.kr

** 건국대학교 대학원 사회환경시스템공학 전공 · E-mail : ykjee77@konkuk.ac.kr

*** 건국대학교 대학원 사회환경시스템공학 전공 · E-mail : kimps@konkuk.ac.kr

2. 재료 및 방법

2.1 대상지구

수정 TANK모형과 저류함수모형의 적용을 위해 IHP 사업의 대표유역으로 선정된 평창강유역(홍천천, 평창강상류, 대화천)을 대상지구로 선정하였다. 평창강유역내의 홍천천, 평창강상류, 대화천의 유역면적은 각각 267.17km², 135.30km², 117.17km²(=519.64km²)이며 주하천 길이는 각각 1.26km, 22.27km, 13.19km이다. 강우데이터는 Thiessen법을 이용한 유역 면적평균우량으로서 2002년의 3월~12월의 일우량과 2002년 4월 29일~30일(48시간), 8월 5일~7일(72시간)의 시우량자료를 사용하였으며 평창강유역의 유량자료는 상안미 수문관측소의 유량자료를 사용하였다. 증발량자료는 강릉기상관측소의 2002년 자료를 사용하였다.

2.2 모형의 기본이론

수정 TANK모형은 단순한 방정식을 사용하지만 모형에서 사용된 방정식의 단순함에도 불구하고 탱크들의 조합은 고도의 비선형성을 나타낸다. 수정 TANK모형을 선정하여 유전자 알고리즘으로 모형의 매개변수를 최적화하고 장기유출 분석을 실시하였다. 본 연구에 사용한 수정 TANK모형은 그림 1과 같이 4개의 유출구가 있는 3단 탱크로 구성하였다.

저류함수모형은 일반적인 홍수유출의 특성인 비선형성이 충분히 고려된다는 장점이 있어 한강홍수예경보에 처음으로 사용된 이래 금강, 섬진강 및 영산강 홍수예경보에도 이 방법을 사용하고 있다. 본 연구에서는 효율적인 홍수유출해석을 위해 저류함수모형의 최적화를 실시하였다.

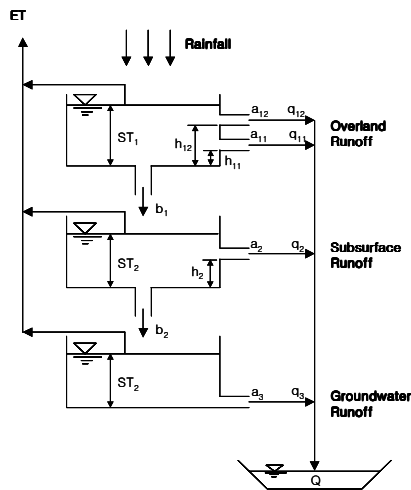


그림 1. 수정 TANK모형의 구조

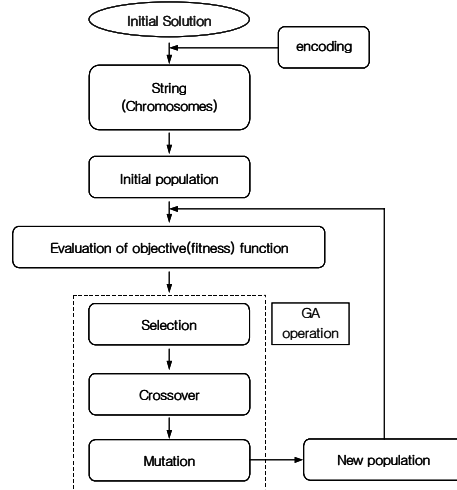


그림 2. 유전자알고리즘의 구조

2.3 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘은 해의 탐색능력이 우수하여 여러 분야의 최적화 또는 의사결정문제에 적용되고 있다. 특히 복잡한 해 공간의 탐색능력이 우수하여 변수와 제약이 많은 문제를 해결하는데 적합하고, 또한 모형에 대한 유연성이 높아 제약식이나 목적함수의 변경이 용이하다는 장점이 있다. 그렇기 때문에 장기와 단기 유출모형의 특성에 유연하게 대처할 수 있다고 판단하여 본 연구의 최적화 기법으로 선정·적용하였다. 그림 2는 유전자 알고리즘의 일반적인 구조를 나타내고 있다.

3. 모형의 적용 및 결과

3.1 수정 TANK모형을 이용한 장기유출모의

유전자 알고리즘을 이용하여 수정 TANK모형의 매개변수를 평수기(6월~9월을 제외한 기간)와 홍수기(6월~9월)로 구분하여 최적화하고 장기유출을 모의하였다. 입력자료는 2002년 3월~12월의 일 강우와 증발량자료를 사용하였으며, 수정 TANK모형의 매개변수 중 초기저류량값은 3월~12월을 기준으로 3회 반복 후에 발생하는 저류량값으로 사용하였다.

표 1과 그림 3은 유전자 알고리즘을 통한 매개변수 최적화 전과 후의 수정 TANK모형의 모의결과를 나타낸 것으로 실측 총유출량은 7,067.0m³/year(1월과 2월 제외)이며 최적화 전과 후의 총 유출량은 각각 8,946.1m³/year와 8,476.2m³/year로 나타났다. 또한 실측유출량과 모의유출량을 일별로 분석한 결과 매개변수 최적화 전의 RMSE, 상대오차(Relative Error), 표준오차(Standard Error)가 각각 36.99m³/sec, 4.88%, 2.48m³/sec로 나타났으며, 매개변수 최적화 후의 RMSE, 상대오차, 표준오차는 각각 14.97m³/sec, 3.12%, 2.15m³/sec로 나타났다. 그리고 실측값과 모의값의 유의성을 나타내는 상관계수(r)의 경우 매개변수 최적화 전에는 0.94로 나타났고 최적화 후에는 0.99로 나타났다.

표 1. 수정 TANK모형의 보정 전·후 월 유출량 모의결과

(unit : m³/month)

유출량	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	RMSE (m ³ /sec)	r	R.E. (%)	S.E. (m ³ /sec)	
실측값	68.81	563.8	825.3	139.2	1,105.6	3,112.5	999.0	231.0	17.0	4.5	-	-	-	-	
모의값	최적화 전	89.23	643.4	1,311.0	721.1	1,771.8	3,031.3	1,057.7	297.0	16.9	6.5	36.99	0.94	4.88	2.48
	최적화 후	76.91	645.2	1,065.8	410.2	1,504.3	3,368.7	1,092.6	286.9	19.4	6.4	14.97	0.99	3.12	2.15

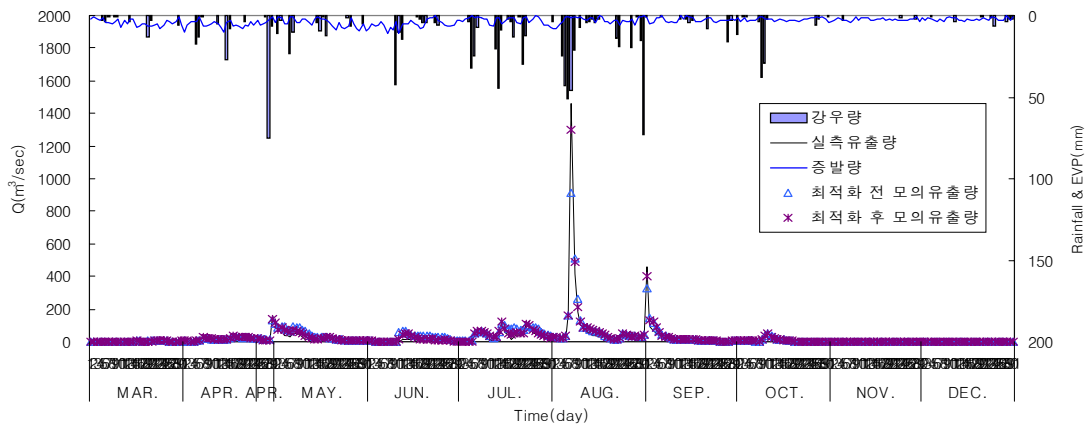
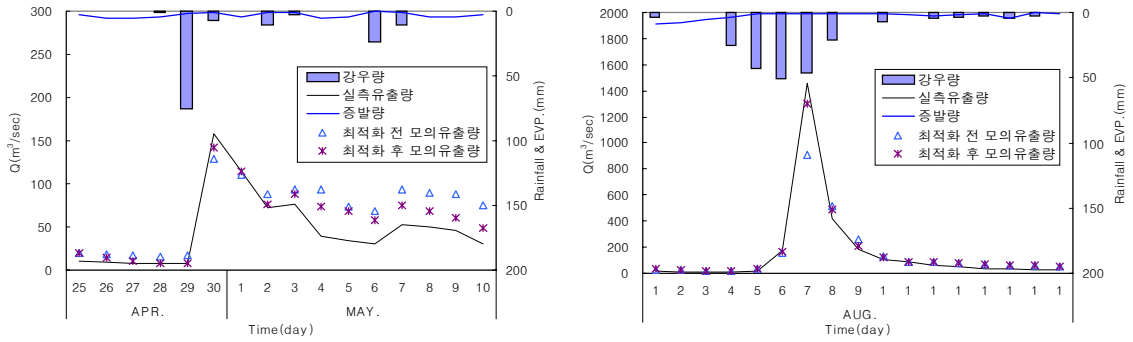


그림 3. 수정 TANK모형의 적용

표 2와 그림 4는 강우 발생기간에 대하여 수정 TANK모형의 매개변수 최적화 전·후의 유출 모의결과를 실측유출량과 비교하여 나타낸 것으로 CASE I (2002. 4. 26~2002. 5. 10)과 CASE II (2002. 8. 1~2002. 8. 17)의 두 기간에 대해서 나타낸 것이다. 매개변수 최적화 전·후의 상관계수를 비교하였을 때, CASE I의 경우는 상관계수가 0.87에서 0.96으로 증가하였으며 CASE II의 경우는 0.88에서 0.93으로 증가하는 것으로 나타났다.

표 2. 강우기간에 대한 수정 TANK모형의 최적화 전·후의 일 유출량 비교

	CASE I		CASE II	
	최적화 전	최적화 후	최적화 전	최적화 후
상관계수(r)	0.87	0.96	0.88	0.93



(CASE I : 2002. 4. 26~2002. 5. 10)

(CASE II : 2002. 8. 1~2002. 8. 17)

그림 4. 강우기간에 대한 수정 TANK모형의 최적화 전·후의 일 유출량 비교

3.2 저류함수모형을 이용한 홍수유출모의

유전자 알고리즘을 통해서 저류함수모형의 매개변수를 최적화하고 CASE III(2002. 4. 29 ~ 2002. 4. 30(48시간)), CASE IV(2002. 8. 5 ~ 2002. 8. 7(72시간))의 실측 시우량과 유출자료를 이용하여 유출량을 모의하였다.

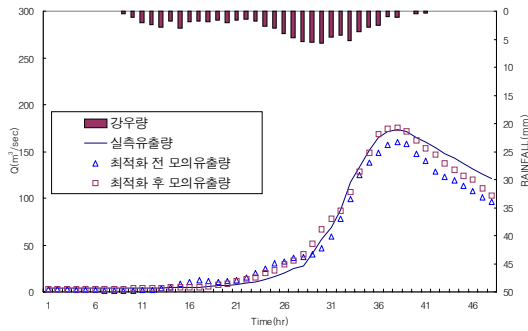
표 3, 표 4와 그림 5는 두 개의 강우사상에 대하여 저류함수모형의 매개변수 최적화 전과 후를 구분하여 시우량별로 분석한 것이다. 각 강우사상에 대한 실측 홍수유출량과 매개변수 전·후의 모의 홍수유출량을 비교하였을 때, RMSE, 상대오차, 표준오차는 감소하는 것으로 나타났으며 유의성은 증가하는 것으로 나타났다.

표 3. CASE III(2002. 4. 29 ~ 2002. 4. 30(48시간)에 대한 저류함수모형의 모의결과

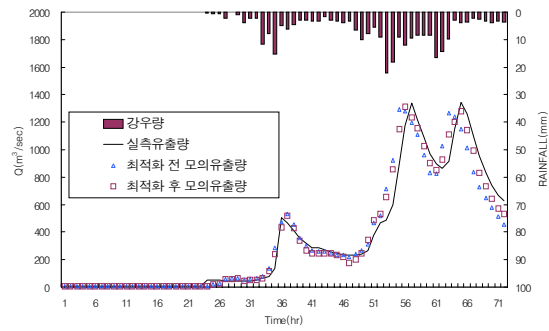
유출량	총 유출량(m³)	첨두유량(m³/sec)	RMSE(m³/sec)	r	R.E.(%)	S.E.(m³/sec)	
실측값	2,835.85	173.63	-	-	-	-	
모의값	최적화 전	2,591.30	159.58	12.55	0.91	0.41	2.26
	최적화 후	2,815.02	175.01	6.76	0.99	0.13	0.66

표 4. CASE IV(2002. 8. 5.~2002. 8. 7(72시간)에 대한 저류함수모형의 모의결과

유출량	총 유출량(m³)	첨두유량(m³/sec)	RMSE(m³/sec)	r	R.E.(%)	S.E.(m³/sec)	
실측값	2,5441.31	1343.27	-	-	-	-	
모의값	최적화 전	2,5249.12	1293.12	114.19	0.89	0.24	13.86
	최적화 후	2,4297.30	1314.67	73.57	0.98	0.18	4.41



(CASE III: 2002. 4. 29.~30.(48시간))



(CASE IV: 2002. 8. 5.~7.(77시간))

그림 5. 저류함수모형의 모의결과

4. 요약 및 결론

본 연구는 유역의 효율적인 물관리를 위해 전역최적화 기법 중 유전자 알고리즘을 이용하여 장·단기 유출모형의 매개변수를 최적화하였다. 장기유출모형은 수정 TANK모형을 선정하여 강우발생 기간의 부정확성에 대한 단점을 보완하기 위해 매개변수를 평수기와 홍수기로 구분하여 최적화시켰으며, 단기유출모형은 저류함수모형을 선정하여 매개변수를 최적화시켰다.

수정 TANK모형의 장기유출분석 결과 최적화 전의 RMSE, 상대오차는 $36.99\text{m}^3/\text{sec}$, 4.88%로 나타났으나, 최적화 후의 RMSE와 상대오차는 $14.97\text{m}^3/\text{sec}$, 3.12%로 최적화 후 실측값에 유사한 결과를 나타냈다. 두개의 강우기간에 대한 유출분석 결과 4, 5월의 경우 최적화 전후의 상관계수가 0.87에서 0.96으로 증가하였으며, 8월 강우기간의 경우는 0.88에서 0.93으로 양호한 결과를 나타내므로 수정 TANK모형의 강우기간에 대한 부정확성을 보완하여 효율적인 장기물수지 분석이 가능하다고 판단된다.

저류함수모형의 홍수유출량을 시간별로 분석한 결과, 실측값에 대한 RMSE, 상대오차, 표준오차는 감소하는 것으로 나타나고, 유의성은 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구의 수정 TANK모형과 저류함수모형을 이용하여 유역의 장·단기유출을 분석할 경우 유역의 효율적인 물관리가 가능하다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. Kang, Min Goo, Park, Seung Woo, Im, Sang Jun and Kim, Hyun Jun, 2002, Parameter Calibrations of a Daily Rainfall-Runoff Model Using Global Optimization Methods, *Korea Water Resource Association* 35(5), pp. 541~552.
2. Kim, Phil Shik, 2002, Development of Basin Water Management Program with Object-Oriented Programming, MSc. thesis. Konkuk Univ.
3. Shim, Soon Bo, Kim, Yeon Kuk, Kim, Man Sik and Shim, Kyu Cheoul, 2001, Estimation of Optimal parameter on WASP5/EUTRO5 Model using Genetic Algorithm, *Journal of Korean Society of Civil engineers* 21(4), pp. 315~326.
4. Park, Bong Jin, Cha, Hyung Sun. and Kim, Ju Hwan, 1997, A Study on Parameters Estimation of Storage Function Model Using the Genetic Algorithms, *Korea Water Resource Association* 30(4), pp. 347~355.
5. Wang Q. J., 1997, Using genetic algorithms to optimize model parameters, *Environmental Modeling & Software* 12(1), pp. 27~34.