

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

Abstract

In this study, parameters of long and short term runoff model were optimized using genetic algorithm as a basic research for integrated water management in a watershed. In case of Korea where drought and flood occur frequently, the integrated water management is necessary to minimize possible damage of drought and flood. Modified TANK model was optimized as a long term runoff model and storage-function model was optimized as a short term runoff model. Besides distinguished parameters were applied to modified TANK model for supplementing defect that the model estimates less runoff in the storm period.

As a result of application, simulated long and short term runoff results showed 7% and 5% improvement compared with before optimized on the average. In case of modified TANK model using distinguished parameters, the simulated runoff after optimized showed more interrelationship than before optimized. Therefore, modified TANK model can be applied for the long term water balance as an integrated water management in a watershed. In case of storage-function model, simulated runoff in the storm period showed high interrelationship with observed one. These optimized models can be applied for the runoff analysis of watershed.

Keywords : genetic algorithm, modified TANK model, storage-function model, parameter optimization

I. 서 론

수자원의 수요는 산업발달과 인구증가에 의해 지속적으로 증가하고 있으며, 이로 인해 한정된 수자원의 관리와 활용을 위한 많은 연구들이 수행되고 있다. 우리나라의 수자원관리는 가뭄과 홍수가 빈번하게 발생하는 곳으로서 가뭄과 홍수를 동시에 관리할 수 있는 통합시스템이어야 한다. 그러나 수

* 건국대학교 생명환경과학대학

** 건국대학교 대학원

* Corresponding author. Tel.: +82-2-450-3753

Fax: +82-2-444-0223

E-mail address: sunjoo@konkuk.ac.kr

자원 관리를 수행할 경우 강우와 유출해석에서 발생하는 수문학적 불확실성은 주요한 결정을 하는데 있어 많은 재산피해와 심지어 생명의 손실 등과 같은 위험성을 내포하기까지 한다. 최근 예측의 정확성과 적용성 향상을 위해 최적화 기법을 사용하여 강우-유출모형의 매개변수를 자동 보정함으로써 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 유역에서의 정확한 유출해석과 효율적인 저수지 통합관리를 위해 장기 유출해석에는 우리나라와 같은 중·소규모 유역의 장기유출 해석을 위해 개발된 수정 TANK 모형²⁾을 선정하고, 다목적법의 실시간 홍수예측에 적합한 것으로 알려져 있는 저류함수모형¹¹⁾을 단기 유출해석 모형으로 선정하여 최적화하였다. 최적화기법으로는 비선형성 문제의 해에 대한 탐색능력이 우수하고 목적함수나 변수의 제약이 다른 기법들보다 적은 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)^{4),6)}을 적용하였다. 특히, 본 연구에서는 수정 TANK 모형을 통해서 장기유출분석을 할 경우, 단기 강우사상 부분에서 과소하게 나타나는 문제점을 보완하기 위해 수정 TANK 모형의 매개변수를 평수기와 홍수기로 구분하여 최적화시키고, 그 결과를 실측 유출량과 비교함으로

서 수정 TANK 모형의 단기 강우사상에 대해 발생하는 오차를 최소화하는데 주력하였다.

II. 재료 및 방법

1. 대상지구

수정 TANK 모형과 저류함수모형의 적용을 위해 IHP(International Hydrological Program)사업^{9),10)}의 대표유역으로 선정된 평창강유역과 보청천유역을 대상지구로 선정하였다. 평창강유역내의 홍청천, 평창강상류, 대화천의 유역면적은 각각 267.17 km², 135.30 km², 117.17 km²으로 총 519.64 km²이며 주하천 길이는 각각 1.26 km, 22.27 km, 13.19 km이다. 보청천유역은 유역면적 475.68 km², 유로연장 49.00 km인 소유역이다. 강우데이터는 Thiessen 가중치 산정을 통한 유역면적평균우량으로서 2000년 10월~2002년의 9월의 일우량과 시우량 데이터를 입력자료로 사용하였으며, 평창강유역의 증발량데이터는 강릉기상관측소의 데이터를 사용하였고 보청천유역의 경우는 모금기상관측소의 데이터를 입력데이터로 사용하였다. 또한 실측유량 데이터는 평창강유역의 상안미수문관측소 유량데이터를 이용하였고, 보청천유역의 경우 모금기상관측소 유량데이터를 실측값으로 사용하였다.^{9),10)}

Table 1 Thiessen weight value of study watersheds

Pyeongchang-river watershed		Bocheong-stream watershed			
Station	Thiessen weight	Station	Thiessen weight	Station	Thiessen weight
Banglim	0.04	Myogeum	0.07	Songjuk	0.09
Gapyeong	0.05	Cheongsan	0.13	Samsan	0.10
Daehwa	0.15	Neungweol	0.09	Dongjeong	0.08
Youchun	0.16	Jungnyul	0.08	Yiweon	0.09
Youngjun	0.16	Kwangi	0.11	Annae	0.01
Gyebang	0.17	Pyeongon	0.06	-	-
Heungjung	0.27	Samga	0.09	-	-

Table 2 Parameter range of modified TANK model for calibration

Parameters	Normal period		Storm period	
	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum
a_{11}	0.400	0.050	0.500	0.200
a_{12}	0.400	0.050	0.500	0.100
a_2	0.100	0.001	0.100	0.010
a_3	0.100	0.001	0.100	0.001
b_1	0.500	0.200	0.500	0.100
b_2	0.100	0.010	0.100	0.010
h_{11}	15.00	2.000	10.00	1.000
h_{12}	150.00	50.000	120.00	30.00
h_2	50.00	0.000	50.00	0.000

* Normal period : except June~September, Storm period : June~September

본 연구에서 수정 TANK 모형의 경우는 매개변수의 범위를 평수기와 홍수기로 설정하여 최적화하였다.²⁾ Table 1은 유역면적평균우량을 산출하기 위한 각 유역의 Thiessen 가중치를 나타낸 것이다. Table 2는 평수기와 홍수기로 구분한 수정 TANK 모형의 매개변수 범위를 나타낸다.

2. 기본이론 분석

가. 유출모형

1) 수정 TANK 모형

수정 TANK 모형의 1단 tank는 유출성분 중 지표유출을 개념화한 것이고 2단 및 3단은 각각 중간유출 및 기저유출을 개념화한 것으로서 대유역에서 4개의 tank를 사용할 때보다 매개변수의 수는 통상 19개에서 11개로 감소하였다.⁷⁾

수정 TANK 모형은 개념적으로 간단한 모양으로 구성되어 있지만 계산과정은 비선형성을 나타내고 있다.³⁾ 만약에 오랜 기간동안 강우가 발생하지 않는다면, 1단 tank, 2단 tank의 순으로 유출이 발생하여 고갈되지만 기저유출은 3단 tank에서 계속 발생할 것이다. 만약 오랫동안 강우가 발생하지 않

다가 짧은 시간동안 많은 강우가 발생한다면, 짧은 시간동안 많은 유출이 발생할 것이다. 이때 대부분의 유출은 지표유출로 1단 tank에서 대부분이 발생할 것이다. 만약 강우가 오랜 기간동안 강도 높게 발생한다면 1단 tank에서 발생하는 지표유출도 많이 발생하겠지만 2단 tank에서도 점점 많은 유출이 발생할 것이다.

수정 TANK 모형의 이러한 구조상의 특징으로 인해서 수정 TANK 모형은 선형모형으로 분류가 되지만, 모의발생의 계산과정은 비선형성을 나타내기 때문에 비선형모형으로 분류를 하는 경우도 있다.¹⁾

본 연구에서 적용한 수정 TANK 모형에 의한 유역의 유출량은 일별 강우량으로부터 식 (1)에 의하여 계산한다.

$$Q_{it} = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m (ST_{i,t} - H_{ij}) A_{ij} \dots \dots \dots (1)$$

여기서 Q_{it} 은 t 일의 총유출량(mm), n 은 tank의 수, m 은 tank의 유출공수, ST_i 은 i 번째 탱크의

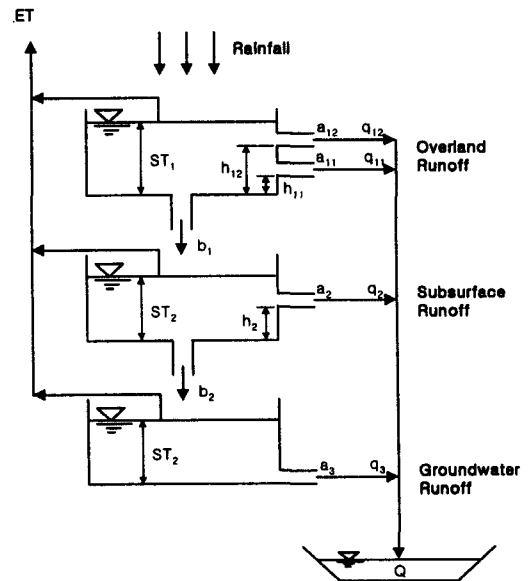


Fig. 1 Conceptual framework of modified TANK model

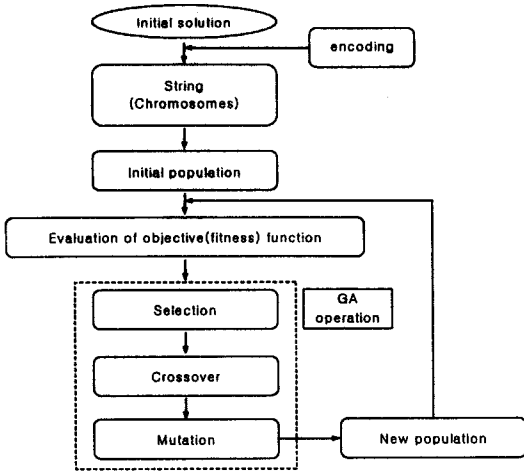


Fig. 2 Schematic of genetic algorithm

저류수심(mm), H_{ij} 는 i 번째 탱크의 j 번째 유출공의 높이(mm), A_{ij} 는 유출공의 단면적(무차원), $ST_{i,t}$ 는 t 일의 i 번째 탱크의 수심(mm)을 나타내며 그 구조는 Fig. 1과 같다.

2) 저류함수모형

저류함수모형은 일반적인 홍수유출의 특성인 비선형성이 충분히 고려된다는 장점이 있어 한강 홍수예경보에 처음으로 사용된 이래 금강, 섬진강 및 영산강 홍수예경보에도 이 방법을 사용하고 있다.⁵⁾

저류함수모형은 홍수유출을 Manning 공식으로 표시할 수 있는 지표면 유출이라 가정하여 유역과 하도구간의 저류량 S 를 유출량의 Q 의 지수함수로 나타내었다.

$$S_i = KQ_i^P \dots \dots \dots (2)$$

식 (2)는 홍수파의 운동방정식으로써 S_i 는 유역의 저류량, Q_i 는 유역의 유출량, K , P 는 유역의 저류상수로서 본 연구에서 적용한 유역에 대한 연속방정식은 다음의 물수지 방정식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{1}{3.6} f \cdot r_{ave} A - Q_i = \frac{dS_i}{dt} \dots \dots \dots (3)$$

여기서 f 는 유역유입계수, r_{ave} 는 시간당 유역 평균강우량, A 는 유역면적(km²), $Q(t) = Q(t + T_i)$ 로서 유역의 지체시간 T_i 을 고려한 유역으로부터의 직접유출량(m³/s), S_i 는 유역 저류량(m³)이다.

나. 유전자 알고리즘

유전자알고리즘(GA: Genetic Algorithm)⁶⁾은 미지수 함수 $Y = G(x)$ 의 최적해를 발견하는 모의진화(Simulation Evolution)형 탐색알고리즘의 성격을 가지고 있으며 자연선택과 유전 메카니즘에 입각해 통계적으로 탐색하는 진화적 과정의 알고리즘으로 John Holland(1975)⁴⁾에 의해 처음으로 소개되었다.

유전자 알고리즘은 그 개념과 이론이 단순하고, 해의 탐색능력이 우수하여 여러 분야의 최적화에 적용되고 있으며 복잡한 해 공간의 탐색능력이 우수하여 변수와 목적함수의 제약이 많은 문제를 푸는데 적합하고 또한 모형에 대한 유연성이 높아 제약식이나 목적함수의 변경이 용이하다는 장점이 있다.⁸⁾ 그렇기 때문에 장기와 단기 유출모형의 특성에 유연하게 대처할 수 있다고 판단하여 본 연구의 최적화 기법으로 선정·적용하였다. Fig. 2는 유전자 알고리즘의 개략적인 구조를 나타내고 있다.

III. 모형의 적용 및 결과

1. 수정 TANK 모형을 이용한 장기유출모의

유전자 알고리즘을 이용하여 수정 TANK 모형의 매개변수를 평수기(10월부터 익년 6월까지)와 홍수기(6월~9월)로 구분하여 최적화하고 장기유출을 모의하였다. 입력자료는 1월과 2월의 실측유출량 부재로 인해 2000년 10월~2002년 9월의 일 강우와 증발량자료를 사용하였다. 수정 TANK 모형의 매개변수 중 3개 tank의 초기저류량값으로는 모의하고자 하는 연도의 일 강우와 증발량자료

를 입력하여 3회 연속모의 후에 최종 발생하는 tank의 저류량값이 초기값으로 사용되었다.

Table 3과 4는 유전자 알고리즘을 이용한 최적화 전·후의 평창강유역 2000년 10월~2001년 9월, 2001년 10월~2002년 9월의 장기유출 모의결과를 일별로 분석한 것이며 Fig. 3과 4는 장기유출

모의결과를 나타낸 것이다. 2000년 10월부터 2001년 9월까지의 실측 총 유출량은 2,449 m³/yr이며 최적화 전과 후의 총 유출량은 각각 2,538 m³/yr와 2,400 m³/yr로 나타났다. 실측유출량과 모의유출량을 일별로 비교·분석한 결과, 매개변수 최적화 전의 RMSE, RE(Relative Error), SE

Table 3 Simulation result of long-term runoff on Pyeongchang-river watershed

(unit : m³/month)

		2000			2001						RMSE (m ³ /s)	r	RE (%)	SE (m ³ /s)	
		10	11	12	3	4	5	6	7	8					9
Observed		180	74	30	306	208	26	107	1,152	349	17	-	-	-	-
Sim.	Before optimization	197	96	41	276	227	77	168	1,011	392	53	8.37	0.80	4.36	2.16
	Genetic algorithm	181	63	20	295	197	21	100	1,181	333	9	2.82	0.91	1.36	1.68

Table 4 Simulation result of long term runoff on Pyeongchang-river watershed

(unit : m³/month)

		2001			2002						RMSE (m ³ /s)	r	RE (%)	SE (m ³ /s)	
		10	11	12	3	4	5	6	7	8					9
Observed		231	17	5	69	564	825	139	1,106	3,113	999	-	-	-	-
Sim.	Before optimization	297	17	7	89	643	1,311	721	1,772	3,031	1,058	36.99	0.94	4.88	2.48
	Genetic algorithm	287	19	6	77	645	1,066	410	1,504	3,369	1,093	14.97	0.97	3.12	2.15

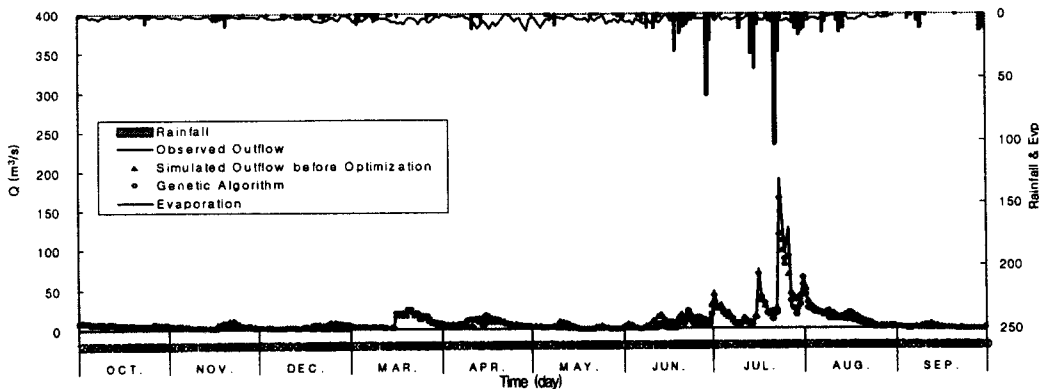


Fig. 3 Simulation result of Pyeongchang-river watershed (2000. 10~2001. 9)

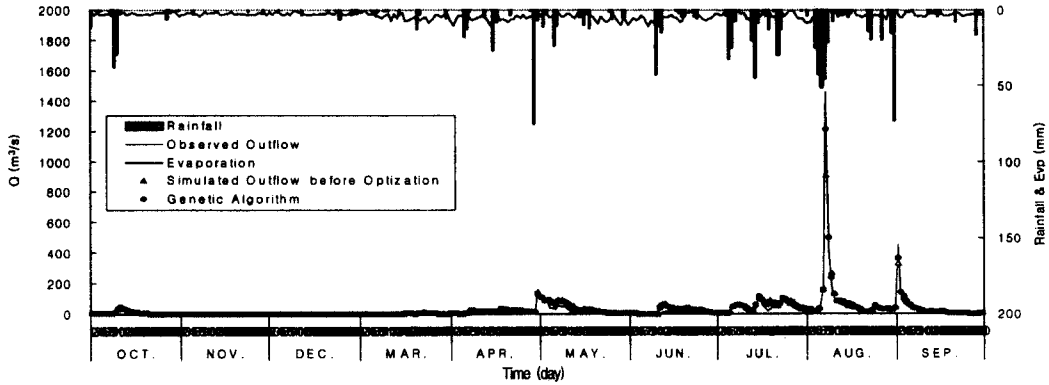


Fig. 4 Simulation result of Pyeongchang-river watershed (2001. 10~2002. 9)

(Standard Error)는 각각 8.37 m³/s, 4.36%, 2.16 m³/s로 나타났으며 매개변수 최적화 후의 RMSE, RE, SE는 2.82 m³/s, 1.36%, 1.68 m³/s로

나타나 오차가 감소하였다. 2001년 10월부터 2002년 9월까지의 실측 총 유출량은 7,068 m³/yr 이며 최적화 전과 후의 총 유출량은 각각 8,946

Table 5 Simulation result of long-term runoff on Bocheong-stream watershed

(unit : m³/month)

		2000			2001						RMSE (m³/s)	r	RE (%)	SE (m³/s)	
		10	11	12	3	4	5	6	7	8					9
Observed		271	614	198	241	163	179	269	265	381	297	-	-	-	-
Sim.	Before optimization	93	142	144	188	103	114	219	201	272	146	6.87	0.81	2.44	2.10
	Genetic algorithm	153	252	179	220	133	145	246	239	321	199	5.51	0.89	2.17	1.86

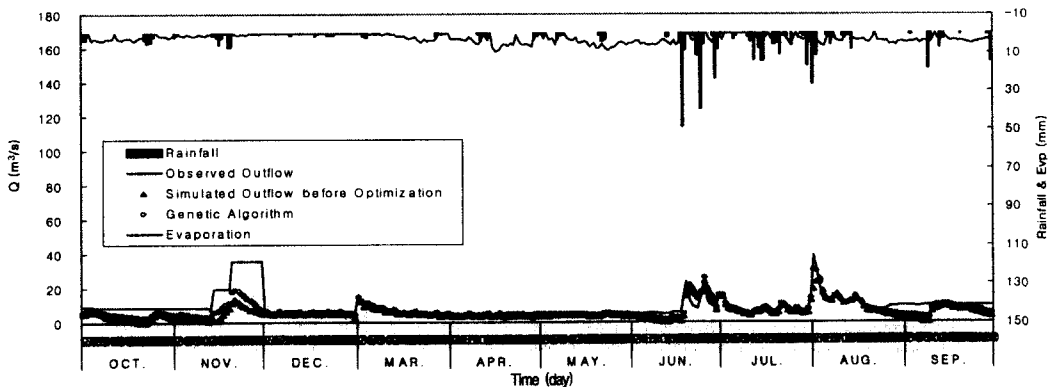


Fig. 5 Simulation result of Bocheong-stream watershed (2000. 10~2001. 9)

m³/yr와 8,476 m³/yr로 나타났다. RMSE, RE, SE가 각각 22.02 m³/s, 1.76%, 0.33 m³/s 감소하는 것으로 나타났다. 실측값과 모의값의 유의성을 나타내는 상관계수, r은 각 연도에 대해 3~11% 증가하는 것으로 나타났다.

Table 5과 Fig. 5는 수정 TANK 모형을 이용한 2000년 10월부터 2001년 9월까지 보청천유역의 장기유출 모의결과를 매개변수 최적화 전과 후를 실측 유출량과 비교한 것으로, 실측 총유출량은 2,878 m³/yr이며 최적화 전의 총 모의유출량은 1,624 m³/year으로 나타났고 유전자 알고리즘을 이용한 최적화 후의 모의유출량은 2,087 m³/yr로 나타났다.

또한 실측유출량과 모의유출량을 일별로 분석한 결과 매개변수 최적화 전의 RMSE, 상대오차, 표준

오차가 각각 26.18 m³/s, 4.53%, 2.36 m³/s로 나타났으며, 유전자 알고리즘을 이용한 매개변수 최적화 후의 RMSE, RE, SE는 각각 16.49 m³/s, 3.43%, 2.09 m³/s로 나타났다. RMSE는 9.69 m³/s 감소하였고 RE는 1.10% 감소하였다. 그리고 SE의 경우는 0.27 m³/s 감소한 것으로 나타났다. r의 경우 매개변수 최적화 전에는 0.88로 나타났고 최적화 후에는 0.94로 나타났다.

Table 6와 Fig. 6은 수정 TANK 모형을 이용한 2001년 10월부터 2002년 9월까지 보청천유역의 장기유출 모의결과를 나타낸 것이다. 실측 총유출량은 2,584 m³/year이며 최적화 전의 총 모의유출량은 2,753 m³/year으로 나타났고 후의 모의유출량은 2,667 m³/year로 나타났다.

Table 7와 Fig. 7은 평창강유역의 장기유출모의

Table 6 Simulation result of long-term runoff on Bocheong-stream watershed

(unit : m³/month)

		2001			2002						RMSE (m ³ /s)	r	RE (%)	SE (m ³ /s)	
		10	11	12	3	4	5	6	7	8					9
Observed		80	43	34	82	99	459	229	346	658	555	-	-	-	-
Sim.	Before optimization	93	55	39	87	103	486	343	385	647	516	26.18	0.88	4.53	2.36
	Genetic algorithm	91	49	36	85	102	475	302	364	638	524	16.49	0.94	3.43	2.09

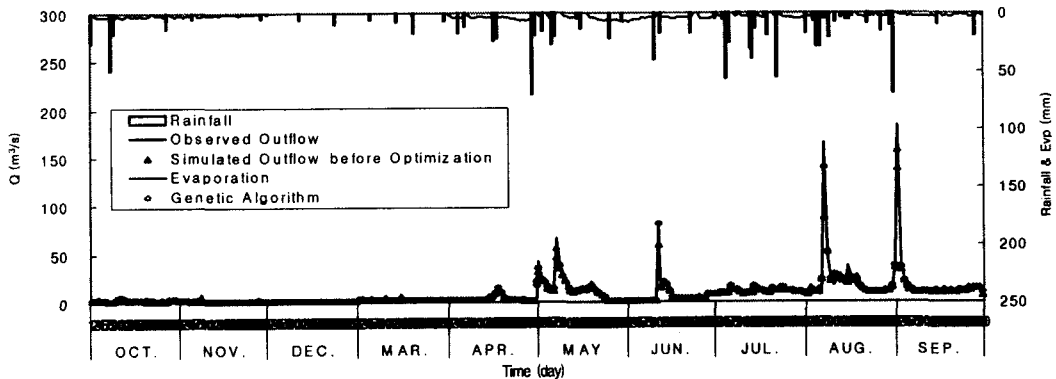


Fig. 6 Simulation result of Bocheong-stream watershed (2001. 10~2002. 9)

결과 중 강우 발생기간에 대한 수정 TANK 모형의 매개변수 최적화 전·후의 유출모의결과를 실측 유출량과 비교한 것으로 CASE I(2001. 6. 26~2001. 7. 8), CASE II(2001. 7. 21~2001. 8. 5), CASE III(2002. 4. 26~2002. 5. 10), CASE IV(2002. 8. 1~2002. 8. 17)의 네 가지

강우사상에 대해서 나타낸 것이다. 유전자 알고리즘을 이용한 매개변수 최적화 전·후의 상관계수(r)를 각각 비교하였을 때, 평균 6% 증가하는 것으로 나타났다.

Table 8과 Fig. 8은 보청천유역의 장기유출모의 결과 중 강우 발생기간에 대해 매개변수 최적화

Table 7 Comparison of before and after optimization of daily runoff during the rain period (1)

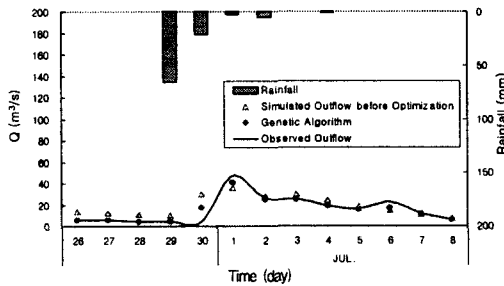
	CASE I		CASE II	
	Before optimization	Genetic algorithm	Before optimization	Genetic algorithm
r	0.88	0.94	0.86	0.95

	CASE III		CASE IV	
	Before optimization	Genetic algorithm	Before optimization	Genetic algorithm
r	0.87	0.92	0.88	0.93

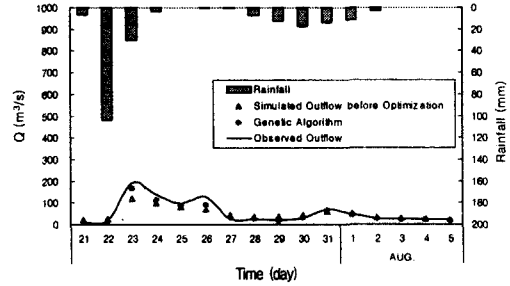
Table 8 Comparison of before and after optimization of daily runoff during the rain period (2)

	CASE V		CASE VI	
	Before optimization	Genetic algorithm	Before optimization	Genetic algorithm
r	0.78	0.85	0.86	0.92

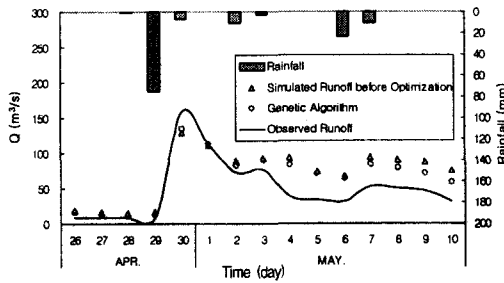
	CASE VII		CASE VIII	
	Before optimization	Genetic algorithm	Before optimization	Genetic algorithm
r	0.79	0.86	0.83	0.90



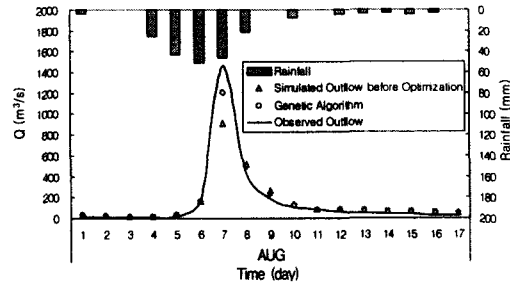
(a) CASE I



(b) CASE II



(c) CASE III



(d) CASE IV

Fig. 7 Comparison of before and after optimization of daily runoff during the rain period (1)

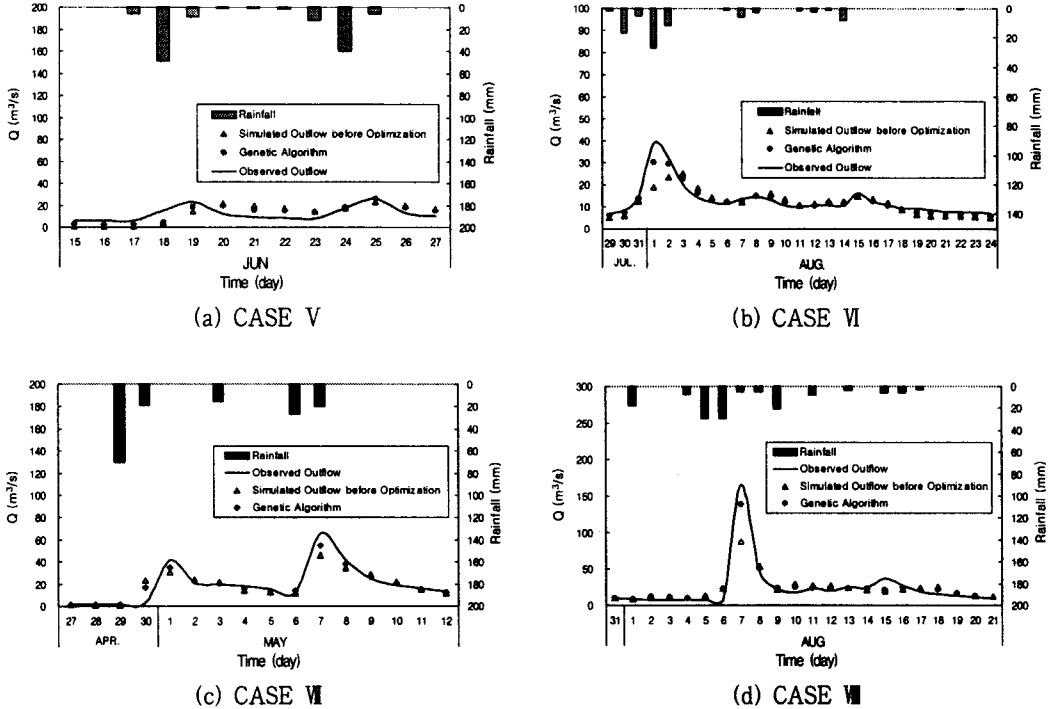


Fig. 8 Comparison of before and after optimization of daily runoff during the rain period (2)

전·후의 유출모의결과를 실측유출량과 비교한 것으로 CASE V(2001. 6. 15~2001. 6. 27), CASE VI(2002. 7. 29~2002. 8. 24), CASE VII(2002. 4. 27~2002. 5. 12), CASE VIII(2002. 7. 31~2002. 8. 21)의 상관계수(r)는 평균 7% 증가하는 것으로 나타났다.

2. 저류함수모형을 이용한 홍수유출모의

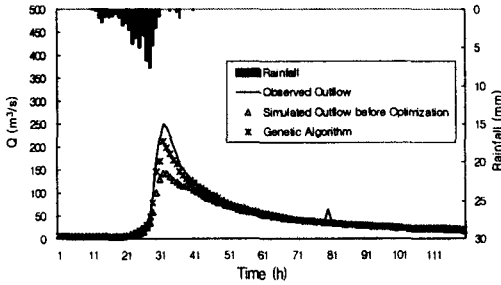
유전자 알고리즘을 이용하여 저류함수모형의 매개변수를 최적화하고 평창강유역과 보청천유역의 2000년 10월부터 2002년 9월까지의 실측시우량과 유량데이터를 이용하여 단기유출을 모의하였다. Table 9과 Fig. 9는 평창강유역의 실측단기유출량과 모의단기유출량을 시우량별로 비교·분석한 것이다. 2000년 10월부터 2001년 9월까지의 강우사상에 대해서 최적화 후의 RMSE는 37.51 m³/s 감

소하였고 2002년의 경우에는 2.9 m³/s 감소하였다. RE는 각각 23%와 14% 감소한 것으로 나타났으며 SE는 6.86 m³/s와 0.5 m³/s 감소한 것으로 나타났다. 실측유출량과 모의유출량의 유의성을 나타내는 r 의 경우는 각각 8%와 2% 증가하는 것으로 나타났다.

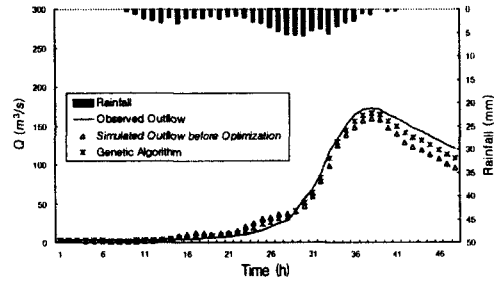
보청천유역의 단기유출량을 최적화 전과 후로 구분하여 분석한 결과, 유전자 알고리즘을 이용한 최적화 후의 총 유출량이 실측값에 보다 가까운 것으로 나타났으며 첨두유량의 경우에도 최적화 후에 실측첨두유량에 가까운 것으로 나타났다. 유의성을 나타내는 r 의 경우 최적화 후에 각각 4%와 6% 증가한 것으로 분석되었다. RMSE, RE, SE의 경우에는 감소하는 것으로 나타났다(Table 10, Fig. 10).

Table 9 Simulation result of short term runoff on Pyeongchang-river watershed

Contents	2001		2002			
	Observed	Simulated		Observed	Simulated	
		Before optimization	Genetic algorithm		Before optimization	Genetic algorithm
Total runoff (m ³)	6,192	4,966	5,635	2,836	2,591	2,738
Peak flow (m ³ /s)	250	143	211	174	160	169
RMSE (m ³ /s)	-	123.86	86.35	-	12.55	9.61
r	-	0.80	0.88	-	0.91	0.93
RE	-	0.52	0.29	-	0.41	0.27
SE (m ³ /s)	-	16.53	9.67	-	2.26	1.76



(a) 2001. 6. 29.~2001. 7. 3. : 120h



(b) 2002. 4. 29.~2002. 4. 30. : 48h

Fig. 9 Simulation result of short-term runoff on Pyeongchang-river watershed

Table 10 Simulation result of short term runoff on Bocheong-stream watershed

Contents	2001		2002			
	Observed	Simulated		Observed	Simulated	
		Before optimization	Genetic algorithm		Before optimization	Genetic algorithm
Total runoff (m ³)	1,121	976	1,055	1,844	1,586	1,679
Peak flow (m ³ /s)	42	34	40	93	72	82
RMSE (m ³ /s)	-	35.48	16.25	-	29.34	16.47
r	-	0.87	0.91	-	0.86	0.92
RE	-	0.49	0.28	-	0.65	0.38
SE (m ³ /s)	-	8.67	4.94	-	17.94	8.54

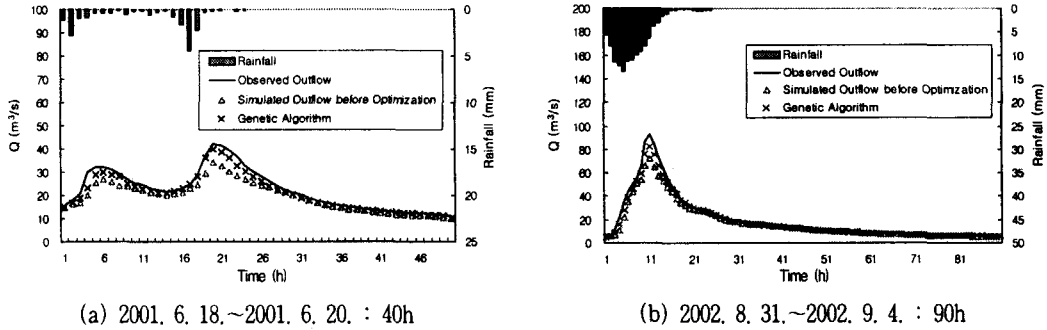


Fig. 10 Simulation result of short term runoff on Bocheong-stream watershed

IV. 요약 및 결론

본 연구는 유역의 효율적인 물관리를 위한 장기 유출과 단기유출의 보다 정확한 해석을 위해 전역 최적화 기법 중 유전자 알고리즘을 이용하여 장·단기 유출모형의 매개변수를 최적화하였고, 이를 이용하여 유출을 모의하고 실측유출량과 비교·분석하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

장기유출모형으로는 수정 TANK 모형을 선정하여 강우발생 기간의 부정확성에 대한 단점을 보완하기 위해 매개변수를 평수기와 홍수기로 구분하여 최적화시켰으며, 단기유출모형은 저류함수모형을 선정하여 매개변수를 최적화시켰다. 수정 TANK 모형을 이용한 장기유출분석 결과, 최적화 전의 모의 결과보다 최적화 후 모의 결과의 RMSE는 43~72%, 상대오차는 23~73%, 표준오차는 18~38% 감소하는 것으로 나타났으며 상관계수는 5~14% 증가하는 것을 나타냈다. 장기유출분석 중에서 강우발생 기간에 대한 유출분석결과, 최적화 후에 유의성이 최소 85%에서 최대 97%까지 향상되는 것으로 나타났다. 전역최적화 기법을 이용하여 강우기간에 대한 부정확성을 보완함으로써 효율적인 장기물수지 분석이 가능하다고 판단되며 단기유출모형에 비해 장기유출모형에 대한 최적화 연구가 미흡한 실정을 고려해보면 향후 연구에 도움이 될 것이라 판단된다.

저류함수모형의 단기유출량을 시간별로 분석한 결과, 실측값에 대한 RMSE는 최적화 전보다 최대 37.51 m³/s, 최소 2.94 m³/s 감소하였으며 상대오차는 평균 40% 감소하였다. 표준오차는 평균 11.43 m³/s 감소하는 것으로 나타났고 유의성은 평균 5% 증가하는 것으로 나타났다.

본 연구에 적용한 유전자 알고리즘의 경우 최적화 하고자 하는 매개변수의 수에 제한성이 적은 장점을 갖고 있으므로 선정된 모형의 특성을 정확히 파악한 후 최적화 기법을 적용한다면 좀 더 신뢰성 있는 장·단기 유출분석이 가능하다고 판단된다.

본 연구의 목적은 최적화 기법을 사용하여 유역과 저수지의 유출해석에 사용 중인 강우 유출모형의 정확성을 향상시키므로 빈번히 발생하는 홍수와 가뭄 재해를 최소화 하고, 부족한 수자원의 효율적인 관리가 가능하도록 하는 것이다. 연구 결과, 장·단기유출모형이 최적화 기법에 의해 적용성이 향상됨을 증명하였으며 지속적인 연구가 이루어진다면 더욱 신뢰성 있는 저수지 수자원의 통합관리가 가능하다고 판단된다.

References

1. Kim, Sun Joo, Yong Geun Jee and Phil Shik Kim, 2004, Parameter Optimization of Long and Short Term Runoff Models Using Genetic

- Algorithm, *Proc. Annual Conference the Korean Society of Agricultural Engineers*, pp.163. (in Korean)
2. Kim, Sun Joo, and Phil Shik Kim, 2001, Water Management Program for Water Management Automation System with Open Architecture, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol.43(5): pp.83-92. (in Korean)
 3. Kang, Min Goo, Seung Woo Park, Sang Jun Im and Hyun Jun Kim, 2002, Parameter Calibrations of a Daily Rainfall-Runoff Model Using Global Optimization Methods, *Korea Water Resource Association*, Vol.35(5): pp.541-552. (in Korean)
 4. Holland, J. H., 1975, *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. University of Michigan Press, Ann Arbor, MI, 183pp.
 5. Park, Bong Jin, Hyung Sun Cha and Ju Hwan Kim, 1997, A Study on Parameters Estimation of Storage Function Model Using the Genetic Algorithms, *Korea Water Resource Association*, Vol.30(4): pp.347-355. (in Korean)
 6. Wang Q. J., 1997, Using genetic algorithms to optimize model parameters, *Environmental Modeling & Software*, Vol.12(1): pp.27-34.
 7. Kim, Hyun Young and Seung Woo Park, 1988, Simulating Daily Inflow and Release Rates for Irrigation Reservoirs (II), *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers*, Vol.30(2): pp.95-104. (in Korean)
 8. Kang, Shin Uk, Kyung Shuk Kang, Dong Ryul Lee and Seok Young Yoon, 2002, Estimation of Tank Model Parameters using Global Optimization Method, *Proc. Annual Conference Korea Water Resource Association (I)*, pp.152-157. (in Korean)
 9. IHP, 2002, Ministry of Construction & Transportation
 10. IHP, 2003, Ministry of Construction & Transportation
 11. Shim, Soon Bo, Sun Koo Kim, Seok Ku Ko, 1992, Automatic Calibratin of Storage-function Rainfall-Runoff Model Using an Optimization Technique, *Korean Society of Civil Engineers*, Vol.12(3): pp.127-137. (in Korean)