

단일변이 탐색법과 유전 알고리즘에 의한 탱크모형 매개변수 결정 비교 연구

Comparison of Estimating Parameters by Univariate Search and Genetic Algorithm using Tank Model

이성용* · 김태곤*,† · 이제명* · 이은정* · 강문성** · 박승우** · 이정재**

Lee, SungYong* · Kim, Taegon*,† · Lee, Jemyung* · Lee EunJung* ·

Kang, MoonSeong** · Park, SeungWoo** · Lee, Jeong-Jae**

ABSTRACT

The objectives of this study are to apply univariate search and genetic algorithm to tank model, and compare the two optimization methods. Hydrologic data of Baran watershed during 1996 and 1997 were used for correction the tank model, and the data of 1999 to 2000 were used for validation. RMSE and R2 were used for the tank model's optimization. Genetic algorithm showed better result than univariate search. Genetic algorithm converges to general optima, and more population of potential solution made better result. Univariate search was easy to apply and simple but had a problem of convergence to local optima, and the problem was not solved although search the solution more minutely. Therefore, this study recommend genetic algorithm to optimize tank model rather than univariate search.

Keywords: Parameter optimization; univariate search; genetic algorithm; tank model

1. 서 론

효율적인 수자원 이용 및 관리를 위해서는 대상 유역에서 강우 사상에 대한 유출량을 아는 것이 중요하다. 유역 내의 유출량을 파악함으로써 하천에 설치된 저수지의 적정 저수용량을 산정할 수 있으며, 각종 용수공급계획을 합리적으로 수립할 수 있게 된다. 또한, 하천의 유량에 직접적인 영향을 받는 수질관리를 수행하거나, 장마철 집중 강우로 인하여 하천의 유량이 과다해질 때의 치수계획을 세울 때에도 강우에 따른 유출량을 예측하는 것이 매우 중요하다.

강우-유출 모형은 여러 가지가 개발되었으나, 국내에서는 입

력해야하는 자료의 수가 비교적 적고 적용이 편리한 Tank모형이 널리 이용되고 있다 (Lee & Kang, 2007). Tank모형은 유역의 특성에 따라 다른 매개변수를 갖게 되는데, 이 매개변수를 어떻게 결정하느냐에 따라 모의 결과의 정확성이 크게 달라진다. 매개변수를 결정하는 방법에는 사용자가 직접 매개변수를 결정하는 수동보정법과 알고리즘을 이용하여 결정하는 자동보정법이 있다 (Kim et al., 2007). 수동보정법은 이용자의 전문적 지식과 많은 경험을 통해 매개변수를 결정하는 방법으로 연구자에 따라 객관적 기준을 적용하기 힘들다는 단점을 갖는다. 반면, 자동보정법은 정해진 알고리즘을 통해 구하기 때문에 컴퓨터를 이용하여 자동화할 수 있으며, 모니터링된 자료를 바탕으로 비교적 양질의 매개변수를 찾아낼 수 있다. 이러한 자동보정법은 크게 두 가지 방법으로 나눌 수 있는데, 하나의 초기 해에서부터 이웃해들을 검색하며 최종해를 구하는 방법과 다수의 초기해로부터 해의 집단을 구성하면서 해공간을 탐색하여 최종해를 찾는 방법으로 나눌 수 있다 (Choi et al., 2001). 본 연구에서는 자동보정법의 두 가지 방법 중 대표적인 알고리즘 하나씩을 골라 매개변수를 산정하고 그 결과를 비교하였다. 전자 중 구현이 간단하고 쉬워 모델에 적용하기

* 서울대학교 생태조경·지역시스템공학부 대학원

** 서울대학교 조경·지역시스템공학부 교수, 서울대학교 농업생명과학연구원

† Corresponding author. Tel.: +82-2-880-4595

Fax: +82-2-873-2087

E-mail address: taegon.kim@hanmail.net

2009년 1월 19일 투고

2009년 4월 5일 심사완료

2009년 5월 18일 게재확정

쉬운 알고리즘으로 단일변이 탐색법을 선택하였으며, 후자는 개념과 이론이 단순하면서도 해의 탐색능력이 우수한 유전 알고리즘을 선택하였다. 단일변이 탐색법과 유전 알고리즘을 강우-유출 모형을 만들기 위한 Tank모형에 각각 적용하여 결과를 비교하고, 두 가지 방법의 장단점을 비교·고찰하고자 하였다. 경기도 화성 발안유역을 대상지역으로 적용하여 연구를 수행하였으며, 1996년에서 1997년을 보정기간, 1999년부터 2000년을 검정기간으로 하여 모델을 구성하였다.

II. 연구방법

1. Tank모형

Tank모형 (Sugawara, 1972)은 1961년 개발된 모형으로 일본, 한국, 동남아시아 등 동아시아에서 널리 이용되고 있다. 유역을 여러 개의 저류형 탱크로 가정하고 강우-유출과정을 모형화한 것으로, 모형구조가 비교적 단순하고 입력 자료도 다른 모델에 비해 간단하게 구성할 수 있어 국내에서 많이 사용하고 있다. 그러나 매개변수의 개수가 많아 매개변수 결정이 어렵고, 매개변수를 잘못 결정할 경우 그 모의 결과가 실제 유출량과 상이하게 되는 약점이 있어 매개변수의 최적화가 매우 중요한 모형이다.

Tank모형에는 4단 Tank모형과 4단 Tank를 좀 더 단순화한 3단 Tank모형이 주로 사용되나, 본 연구에서는 모델의 단순화보다는 매개변수를 최적화하고, 이를 비교하고자 하는 데 목적이 있기 때문에 기존의 4단 Tank모형을 이용하였다. 4단 Tank모형의 매개변수는 Fig. 1에 나타난 것처럼, 유출계수 A_n 와 침투계수 B_n , 저류고 S_n , 유출공의 높이 H_n 등으로 구성되어 있으며 총 16개 이다. 이중 최적화를 통해 결정해야 할 변수의 개수는 4개 탱크의 저류고를 제외한 12개인데 각각의 매개변수가 상호영향을 미치기 때문에 이를 결정하는 것이 쉽지

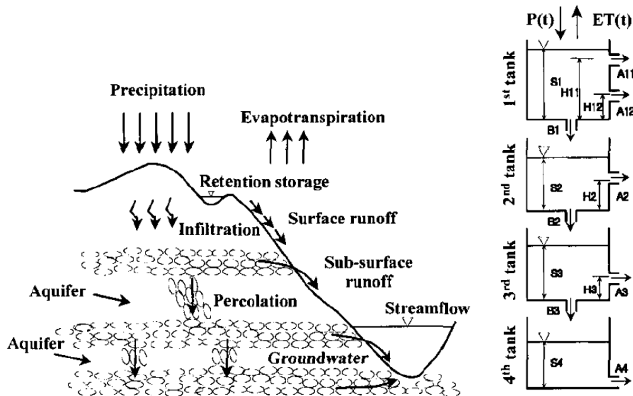


Fig. 1 Schematic of the Tank model(Kim & Kim, 2004)

않다. 본 연구에서는 단일변이 탐색법과 유전알고리즘을 이용해 매개변수를 최적화하고자 하며, 자세한 설명은 뒤에 최적화 기법에서 논의하도록 하겠다.

Fig. 1에서 보이는 것처럼 1번째 탱크와 2번째 탱크는 지표 근처의 강우-유출응답을 표현하며, 3번째, 4번째 탱크는 느린 지하에 저류되었다가 나오는 유출을 표현한다. 각 탱크의 유출량, 침투량, 저류량, 그리고 총유출량에 대한 수식은 각각 식 1, 2, 3, 4와 같다 (Kim & Kim, 2004).

$$R(x,n) = A(x)(S(x,n) - H(x)) = 0 \quad (1)$$

$$I(x,n) = B(x)S(x,n) \quad (2)$$

$$S(x,n+1) = S(x,n) - R(x,n)\Delta t - I(x,n)\Delta t + P(n+1)\Delta t \quad (3)$$

$$Q(n) = \sum_{x=1}^4 R(x,n) \quad (4)$$

x 는 상부로부터의 탱크 개수, n 은 유출계산 시작일로부터 현재일까지의 일수, Δt 는 유출계산간격이다. R 은 탱크유출량, I 는 침투고, S 는 저류량, P 는 강우량, Q 는 총 유출량이며, A 는 유출공의 면적, B 는 침투공의 면적, H 는 탱크의 유출공 높이를 나타낸다.

2. 최적화 기법

가. 단일변이 탐색법

단일변이 탐색법은 여러 개의 변수로 이루어진 함수의 최대·최소값을 찾는 최적화 방법의 일종으로서, 함수를 변수에 대해 미분하지 않고서도 최적화를 할 수 있는 간단한 방법이다. 함수에 영향을 주는 여러 가지의 변수가 있을 때, 하나의 변수만 변화시키고 나머지 변수들은 고정 시켜놓고 그 변수의 값을 정한 뒤, 다음 변수를 변화시키고 나머지 변수들을 고정 시켜 그 변수의 값을 찾는 방법을 반복한다. 한 번에 하나의 변수만 변화시키기 때문에 일차원문제가 되어 쉽게 문제를 해결 할 수 있다 (Kim et al., 2005).

단일변이 탐색법은 Fig. 2와 같이 등고선에서 정상을 찾는 문제로 쉽게 설명할 수 있다. 높이를 나타내는 Height(x, y)라는 2개의 매개변수를 갖는 함수로 정의하고, 다른 매개변수는 고정한 채 하나의 변수만을 번갈아가며 최대값을 찾아감으로써 목표함수의 최대값을 찾을 수 있다. 목표 함수가 Fig. 2와 같이 도시화될 때, 임의의 점 1에서 시작을 해서 y 는 고정을 시키고 x 만을 변화시켜 목표함수의 최대값을 갖는 x 를 찾고, 그

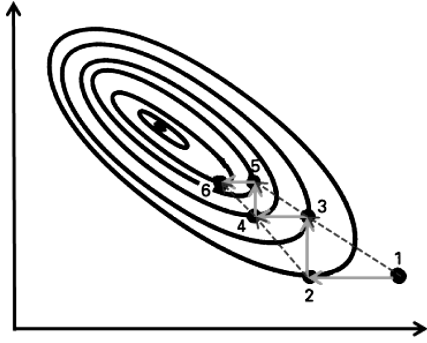


Fig. 2 Concept diagram of univariate search method

점 2에서 x를 고정시켜놓고 y를 변화시켜 목표함수의 최대값을 갖는 점 3을 찾아 y값을 찾는 방법으로 계속 반복하면 목표함수의 최대값에 도달할 수 있다.

본 연구에서는 단일변이 탐색법을 이용하여 Tank모형의 매개변수를 최적화하는 모델을 구현하였다. 여러 개의 매개변수 중 다른 변수는 고정한 채 하나의 변수만을 번갈아 가며 변화시켜 목적함수가 최적이 되도록 하였다. 과거의 기상-유출 자료와 모의된 결과를 비교하여 실측값과 모의치의 차이를 최소화 구성하기 위해, 모의된 유출량과 실제 관측된 유출량의 차이를 설명해주는 목적함수를 선정하고 최적화하였다. 목적함수는 필요에 따라 유출용적오차 (Volume Error, VE), 평균제곱근오차 (Root Mean Square Error, RMSE), 저수유량 평균제곱근오차 (Low Flow RMSE, L_{RMSE}) 등 중에서 선정할 수 있는데, 본 과제에서는 실측치와 모의치 사이의 오차를 설명해주는 RMSE를 목적함수로 선정하였으며, 함수의 형태는 식 5와 같다.

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Q_{obs,i} - Q_{sim,i}]^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

나. 유전 알고리즘

유전 알고리즘은 자연선택의 과정을 모사하여 해를 찾아가는 알고리즘으로서 해가 될 수 있는 해의 샘플을 가지고 시작하여 점점 최적해에 가까운 샘플을 남겨가며 진화하는 과정을 모사한다. 이때 나쁜 경향이 있는 샘플은 진화과정에서 도태되고, 더 나은 해를 나타내는 세트는 살아남아 점점 그 개체수를 늘려 그 영향력이 커지게 된다. 그리고 진화를 거듭하면 일부에서 돌연변이가 발생하여 해의 다양성을 유지함으로써 전역 최적해 (global optimum solution)를 구하도록 한다.

유전 알고리즘은 탐색공간에 대한 사전지식이 없거나, 탐색공간이 매우 복잡한 경우에 전통적인 최적화 기법에 비해 나은 결과를 보이는 것으로 알려져 있다 (Moon, 2008; Gen &

Cheng, 1997). 이는 전통적인 최적화 기법이 하나의 해에서 출발하여 최적해를 찾아가는 과정에서 국지해 (local optima)에 수렴하는 경우가 종종 발생하는데, 유전 알고리즘은 전체 도메인에 대해 임의적으로 접근하여 해를 구하기 때문에 국지해에 수렴하지 않고 전역 최적해를 찾아낸다.

이와 같은 장점을 갖는 유전 알고리즘은 효율적인 구동을 위해서 다음과 같은 기준을 만족해야 한다 (Klaus Meffert, 2008).

- 구한 해가 다른 해들에 비해 얼마나 좋은 해인지를 쉽게 예측할 수 있어야 한다.
- 유전자로 구분할 수 있도록 해를 구성하는 독립적인 변수들로 구분할 수 있어야 한다.
- 유전 알고리즘을 이용하여 최고의 해를 찾기란 거의 불가능하다. 하지만 최상의 해를 찾기보다는 특정 조건을 만족하는 적절한 해를 찾는 목적에는 매우 유용하다.

3. 모형의 구성

가. 단일변이 탐색법

단일변이 탐색법을 이용한 최적화 방법은 기존에 C언어로 구현된 4단 Tank모형 프로그램을 수정하여 구현하였으며, 단일변이 탐색법을 사용하기 위한 함수와 RMSE를 계산하기 위한 함수를 추가하는 방법으로 개발하였다.

단일변이 탐색법은 최적화를 통해 결정되는 매개변수가 적정 범위 내에서 나오도록 그 범위를 한정해 주어야 하는데 이는

Table 1 Ranges and initial values of TANK model

Parameters	Symbols	Range	Initial values
Storage of 1st Tank	S1	0.0	0.000
Storage of 2nd Tank	S2	0.0	0.000
Storage of 3rd Tank	S3	10~100	30.000
Storage of 4th Tank	S4	100~1000	300.000
Area of Upper Side Outlet in 1st Tank	A11	0.1~0.5	0.260
Area of Lower Side Outlet in 1st Tank	A12		0.160
Area of Bottom Outlet in 1st Tank	B1		0.330
Area of Side Outlet in 1st Tank	A2	0.03~0.1	0.090
Area of Bottom Outlet in 2nd Tank	B2	0.01~0.1	0.080
Area of Side Outlet in 3rd Tank	A3	0.005~0.01	0.007
Area of Bottom Outlet in 3rd Tank	B3		0.006
Area of Outlet in 4th Tank	A4	0.0005~0.01	0.002
Height of Upper Side Outlet in 1st Tank	H11	5~60	30.000
Height of Lower Side Outlet in 1st Tank	H12		15.000
Height of Side Outlet in 2nd Tank	H2	0~50	10.000
Height of Side Outlet in 3rd Tank	H3	0~30	10.000

Table 1에서 표시한 바와 같이 Sugawara (1972)가 제안한 매개변수 범위를 이용하였다. 단일변이 탐색법을 할 때에는 매개변수들의 초기값을 결정해야 한다. Korea Water Resource Corporation (1999)은 시산개시일을 1월 1일일 때, 전년도 12월 말에 큰 강우가 없을 경우, 1단 탱크와 2단 탱크는 0.0, 3단 탱크의 경우 30.0, 4단 탱크는 300.0을 각 탱크의 초기 저류고로 제안하였다. 본 연구에 이용된 발안 구역도 1995년 12월과 1998년 12월에 큰 강우가 없으므로 그 값을 이용하였다. 단일변이 탐색법을 하는데 필요한 기타 변수들의 초기값은 Kim & Kim (2004)이 이용한 경험치를 사용하였다.

4. 유전 알고리즘

유전 알고리즘은 기본적으로 다음과 같은 연산자로 구성된다.

- 재생산 (reproduction): 후보 해를 생성
- 교배 (crossover): 2개의 후보 해를 교배하여 새로운 2가지 해를 생성
- 변이 (mutation): 후보 해의 일부분을 임의적으로 대체

이와 같은 3가지 연산자를 구현하고, 유전 알고리즘을 이용하여 최적해를 구하기 위해서 Java를 이용하여 프로그램을 개발하였다. 기본적인 유전 알고리즘 프레임은 Klaus Meffert (2008)이 구현한 JGAP (Java Genetic Algorithm Package) 라이브러리를 활용하였으며, 일반적으로 이진코딩 알고리즘을 이용하는 데 비하여 본 연구에서는 실수코딩 알고리즘을 이용하였다. 이진코딩 알고리즘은 염색체를 0, 1로 나열된 이진 스트링 (binary string)으로 표시하고, 이를 이용하여 진화·연산하는 알고리즘으로, 유전 알고리즘의 기본적인 알고리즘이다. 하지만 적합도를 평가하기 위해서는 이진 스트링을 계산할 수 있는 실수 값으로 변환하여야 하며, 변환 과정에서 해밍절벽 (hamming cliff)라고 불리는 급격한 비트 차이가 발생하기도 하는 등의 문제가 존재한다. 이러한 단점을 보완하기 위해 실수코딩 알고리즘이 제안되었고, 실수코딩 알고리즘은 염색체를 실수벡터를 표현하고 실수벡터를 효율적으로 다룰 수 있도록 연산자를 구현한 것으로서 제약조건을 갖는 최적화 문제에 적합하다 (Jin & Joo, 2000; Park & Cho, 2006).

Tank모형 역시 Java언어를 이용하여 구현하였으며, 기존의 C프로그램과 동일한 결과를 보이는 것을 확인한 후 사용하였다. 앞서 단일변이 탐색법과 동일한 조건으로 Table 1에서 제안한 변수의 범위를 이용하여 실수벡터를 염색체로 설정하였다, 해의 적합도를 판정하기 위해서 RMSE를 목적함수로 두고 이를 최소화하도록 모델을 구성하여 최초 개체수를 1000개로 설정한 후, 1000세대를 거쳐 진화하여 최적해를 산정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 모형의 적용

가. Tank모형의 보정

Tank모형의 매개변수들을 단일변이 탐색법과 유전알고리즘을 이용하여 최적화하였으며, 그 값들을 Table 2에 나타내었다. 두 가지 최적화 방법을 통해 얻은 매개변수를 Tank모형에 적용하여 보정기간 (1996년~1997년)동안을 모의 한 후, 그 결과를 유출량 실측 자료와 비교하였다. 두 방법의 결과를 도시한 Fig. 3을 살펴보면, 실선으로 나타낸 단일변이 탐색법과 점선으로 나타낸 유전 알고리즘의 결과 모두 첨두 유량 (Peak runoff)을 잘 모의하고 있음을 확인할 수 있다. 특히 유전알고리즘은 유출변화가 심하지 않는 특징을 보이며, 겨울철 (96년 10월~97년 4월)의 실측치를 단일변이 방법보다 잘 모의하고 있다는 것을 확인할 수 있다. Fig. 4에서 도시한 산포도를 살

Table 2 Optimized parameters by univariate search and genetic algorithm

Parameters (Symbols)	Methods	Optimized Values
Area of Upper Side Outlet in 1st Tank(A11)	Univariate Search	0.386
	Genetic Algorithm	0.368
Area of Lower Side Outlet in 1st Tank(A12)	Univariate Search	0.317
	Genetic Algorithm	0.347
Area of Bottom Outlet in 1st Tank(B1)	Univariate Search	0.246
	Genetic Algorithm	0.190
Area of Side Outlet in 1st Tank(A2)	Univariate Search	0.041
	Genetic Algorithm	0.034
Area of Bottom Outlet in 2nd Tank(B2)	Univariate Search	0.099
	Genetic Algorithm	0.067
Area of Side Outlet in 3rd Tank(A3)	Univariate Search	0.005
	Genetic Algorithm	0.005
Area of Bottom Outlet in 3rd Tank(B3)	Univariate Search	0.010
	Genetic Algorithm	0.009
Area of Outlet in 4th Tank(A4)	Univariate Search	0.001
	Genetic Algorithm	0.001
Height of Upper Side Outlet in 1st Tank(H11)	Univariate Search	56.390
	Genetic Algorithm	52.350
Height of Lower Side Outlet in 1st Tank(H12)	Univariate Search	26.890
	Genetic Algorithm	38.080
Height of Side Outlet in 2nd Tank(H2)	Univariate Search	10.000
	Genetic Algorithm	47.800
Height of Side Outlet in 3rd Tank(H3)	Univariate Search	10.0000
	Genetic Algorithm	21.020

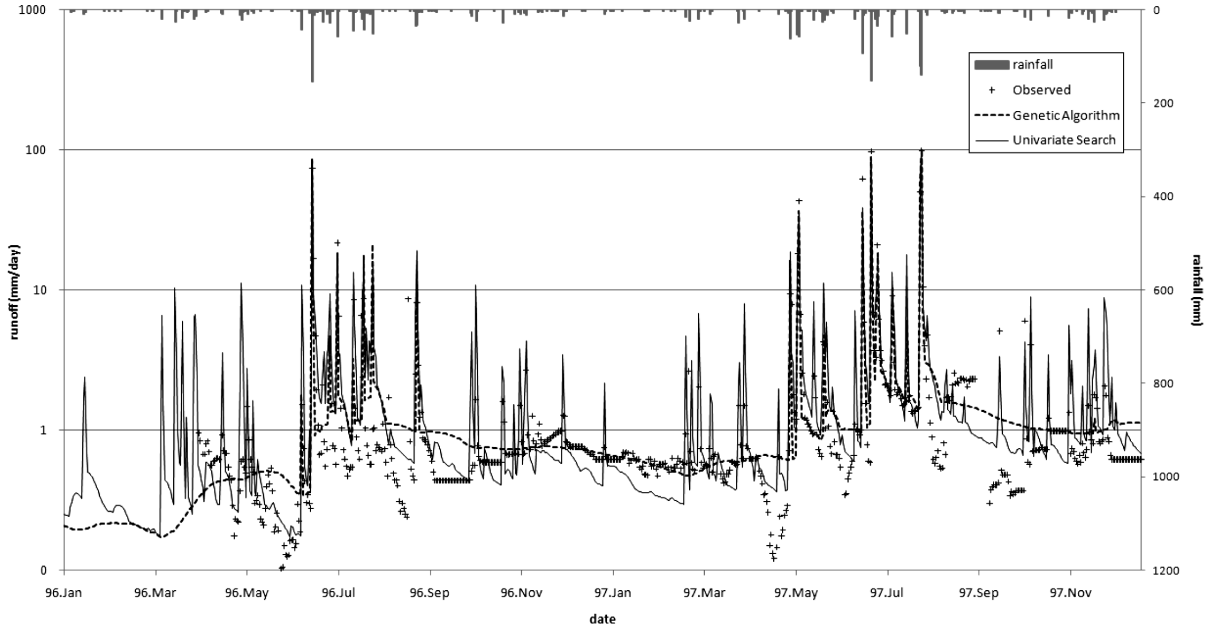


Fig. 3 Observed and simulated runoff during calibration period

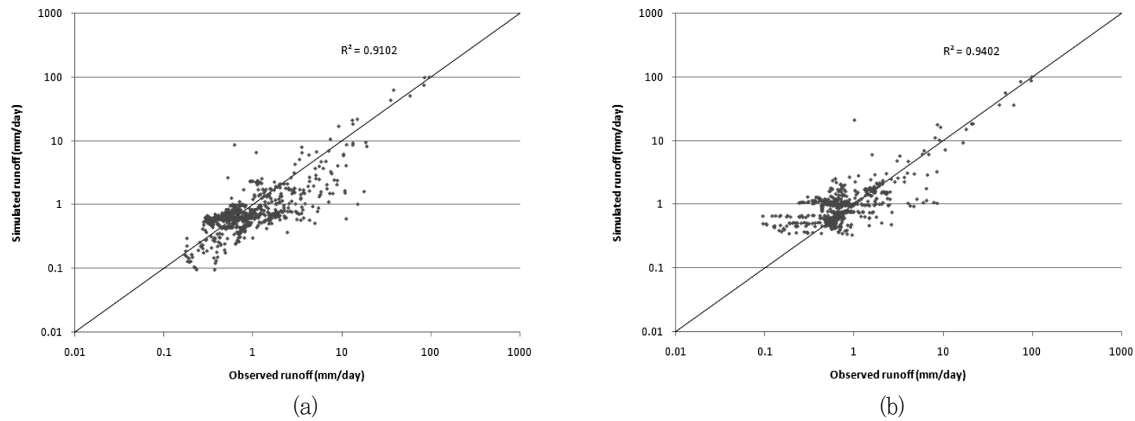


Fig. 4 Scatter diagram of daily runoff during the correction period Optimized by two method

Table 3 Errors of univariate search and genetic algorithm

Methods	RMSE (mm)	R ²
Univariate Search	2.2681	0.9102
Genetic Algorithm	1.8197	0.9402

해보면 두가지 방법 모두 실측치와 비슷하게 모의하고 있는 것으로 나타났다. 목적함수를 Table 3과 같이 정리하였으며, 단일변이 탐색법의 경우 RMSE가 2.2681mm, R²가 0.9102로 나타났고, 유전알고리즘은 RMSE가 1.8197mm, R²가 0.9402로 나타나 두 방법 모두 결정계수가 높은 것으로 나타났으며, 이 중 유전알고리즘이 단일변이 탐색법에 비해 비교적 실측치에 보다 가깝게 모의하고 있는 것으로 보인다.

2. Tank모형의 검정

앞서 1996년부터 1997년의 강우-유출량 실측 자료를 바탕으로 보정한 Tank모형을 1999년부터 2000년의 강우자료에 적용하여 유출량을 모의하고 그 모의치를 실측치와 비교하여 모델을 검정하였다. Fig. 5는 앞서 보정단계에서 각각의 방법으로 산출한 최적 매개변수를 이용하여 추정된 유출량 모의치와 실측치의 비교한 것이다. 앞서 기술한 특징대로 결과가 모의되었으며, 두 최적화 방법의 검정 결과는 Fig. 6과 Table 4와 같다. 각 모델의 RMSE는 각각 5.4952mm, 5.2692mm로 나타났으며, 결정계수 R²는 0.8382, 0.8563로 양호한 결과를 보여주었다.

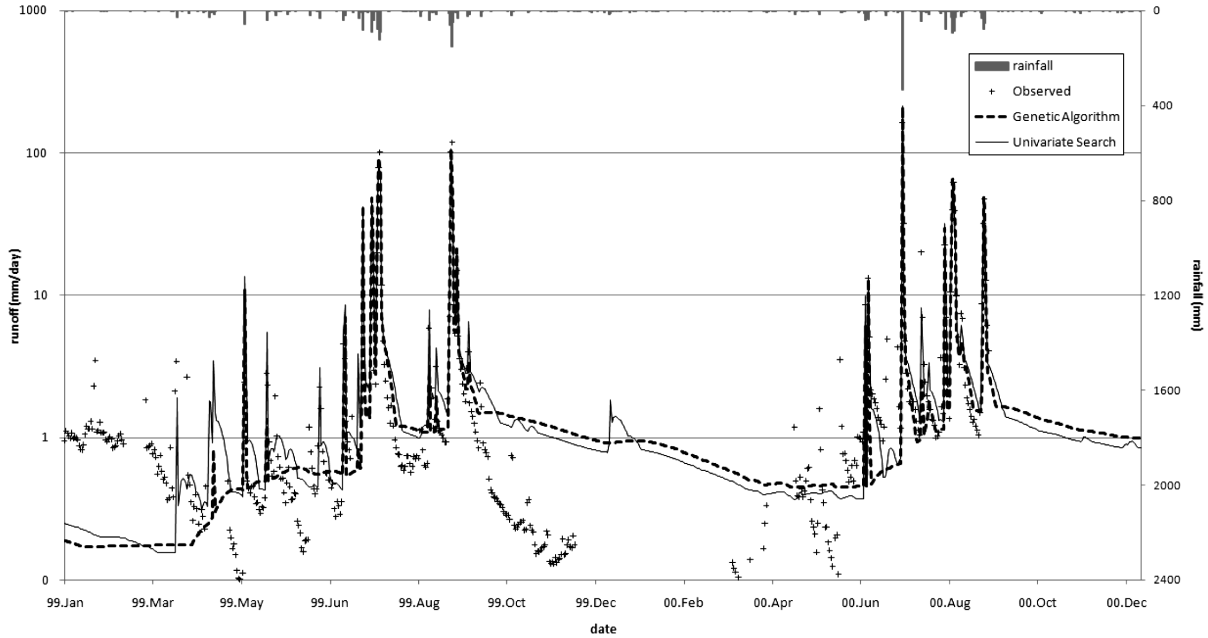


Fig. 5 Observed and simulated runoff during validation period

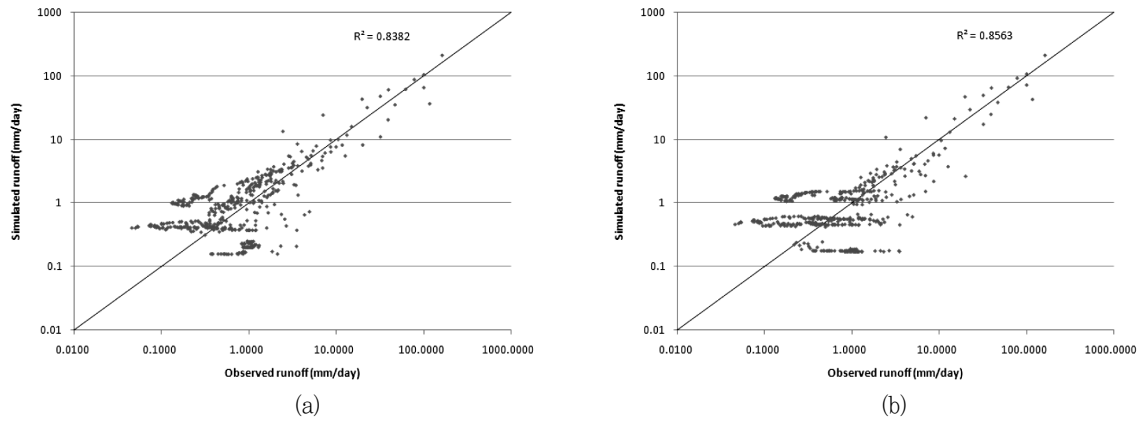


Fig. 6 Scatter diagram of daily runoff during the verification period Optimized by (a) univariate search and (b) genetic algorithm

Table 4 Errors of univariate search and genetic algorithm

methods	RMSE (mm)	R ²
Univariate Search	5.4952	0.8382
Genetic Algorithm	5.2692	0.8563

3. 결과의 비교

Fig. 3, Fig. 5에 도시된 그래프를 살펴보면, 두 가지 방법 모두에서 유출량이 작을 때보다는 큰 값을 갖는 경우를 잘 모의하는 것으로 나타나고 있다. 이러한 현상은 RMSE를 목적함수로 설정하고 최적화하였기 때문이다. 목적함수인 RMSE에 영

향이 적은 작은 값들은 모의치와 실측치가 다르더라도 무시되는 경향이 있으며, 수치가 큰 값들은 오차가 날 경우 목적함수에 미치는 영향력이 크기 때문에 잘 맞는 경향을 갖는다. 결과적으로 유출량이 클 때에 대해서는 비교적 잘 모의하나, 유출량이 적은 영역에서는 모의치와 실측치가 차이가 나는 것을 확인할 수 있었다. 목적함수에 보다 최적화된 값을 도출한 유전 알고리즘의 결과가 강우에 따른 유출이 둔하게 반응하면서 소량의 유출량은 잘 맞추지 못하는 데 비해 침투유량은 보다 잘 모의하는 결과로 나타난 것은 목적함수의 특징을 잘 표현한 것으로 사료된다.

4. 고찰

단일변이 탐색법의 경우 간단하게 최적화기법을 구현할 수 있었으나, 유전알고리즘과 비교해볼 때 실측치와 모의치를 이용해 구한 RMSE와 R^2 모두 보다 덜 정확한 결과를 보여주고 있다. 이는 단일변이 탐색법을 통해 얻은 결과가 전역해가 아닌 국지해에 수렴했을 가능성을 내포하고 있다.

이를 살펴보기 위해 유전 알고리즘과 단일변이 탐색법이 최적화를 진행하는 과정을 Fig. 7과 같이 도시하였다. 'GA 100'은 유전 알고리즘에서 개체수를 100개로 두고 계산했을 때, 'GA 500'은 개체수를 500개로 했을 때를 나타내고 있다. 'US 1/50'은 단일변이 탐색법에서 매개변수를 변화시키는 폭을 해당 매개변수가 갖을 수 있는 범위의 1/50만큼 이동시키며 탐색하는 것을 의미하고, 'US 1/100'은 1/100씩 이동시키며 탐색하는 것을 나타낸다. 유전 알고리즘의 경우 단일변이 탐색법에 비해 최적화를 잘 수행하는 것을 볼 수 있으며, 잠재해가 많은 경우, 보다 좋은 해에 수렴할 수 있음을 확인하였다. 이에 비해 단일변이 탐색법은 초기에 빠른 속도로 해에 근접해 가는 것처럼 보이나 유전 알고리즘이 목적함수 1.9 근처에서 수렴하는 것에 비해 2.3 근처에서 수렴함으로써 유전 알고리즘에 비해 나쁜 결과를 보여준다. 또한 매개변수 변화의 폭을 더 조밀하게 하더라도 더 좋은 결과를 보장하지 못하며, Fig. 7에 나타나는 것처럼 'US 1/100'이 'US 1/50'보다 오히려 더 높은 RMSE값에서 수렴해버리는 모습을 보이고 있다. 이는 국지해가 존재하여, 최적해로 수렴하지 못하고, 특정 해로 수렴해 버리는 것으로 추정할 수 있다.

모형이 간단하고, 선형 사상일 경우에는 간단하게 최적화 기법을 적용할 수 있는 단일변이 탐색법이 유용할 수 있으나, Tank모형과 같이 다양한 변수가 존재하고 서로 복잡하여 영향을 주고받는 경우에는 수많은 국지해가 존재할 수 있다. 따라

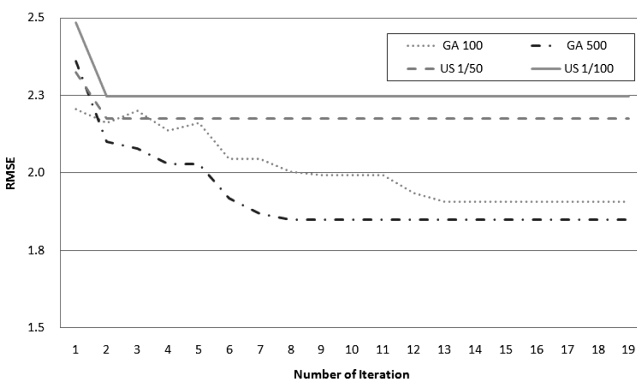


Fig. 7 Comparison of Univariate Search and Genetic Algorithm

서 Tank모형에 있어서 단일변이 탐색법과 같이 이웃해를 검색해가는 방식보다는 해 집단 전체를 검색하는 유전 알고리즘과 같은 방식의 최적화 기법을 활용하는 것이 유용할 것으로 생각된다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 유출모형으로 많이 이용되는 Tank모형의 매개변수를 최적화하는 방법에 대해 살펴보았다. 모형은 실제 현상을 모의하는 데 목적을 두고 있으며, 이는 실측치와 모의치의 오차를 최소화하는 최적화 문제로 환원할 수 있다는 점에 착안하여, 경기도 발안 유역에서 실측된 자료를 이용하여 Tank모형을 적용하고, 단일변이 탐색법과 유전알고리즘의 두 가지 최적화 기법을 이용하여 매개변수를 최적화하여, 그 모의 결과를 비교하였다.

보정 기간은 1996~1997년으로 선정하여 매개변수의 최적화를 수행하였으며, 보정된 모델을 검증하기 위하여 1999~2000년 자료를 이용하였다. 본 연구에서는 최적화를 하기 위한 목적함수로 RMSE와 R^2 를 채택하였으며, 보정 결과 단일변이 탐색법과 유전 알고리즘의 R^2 가 각각 0.9102, 0.9402로 높은 결과를 보였으며, 각각의 방법으로 얻은 매개변수로 구성된 Tank모형을 검증 기간에 적용해본 결과 R^2 가 각각 0.8382, 0.8563으로 양호한 결과를 보였다. 특히 유출량이 크게 나타나는 부분에서 잘 모의하는 것으로 나타났다.

유전 알고리즘은 더 많은 잠재해를 갖고 시작하는 것이 더 나은 최적화 결과를 보였으나, 단일변이 탐색법은 매개변수의 변화폭을 작게 하여 더 세밀하게 탐색하더라도 오히려 더 나쁜 결과로 수렴할 수 있음을 확인하였다. 이는 국지해가 존재할 경우에는 단일변이 탐색법과 같은 인근해를 탐색하는 방법이 유효하지 않을 수 있다는 것으로 생각된다. 따라서 Tank모형과 같이 많은 매개변수가 존재하며, 서로 비선형적으로 연결되어 있는 모형의 경우에는 유전 알고리즘과 같이 전역해를 검색하는 알고리즘을 이용하여 최적화하는 것이 보다 타당할 것으로 판단된다.

추후 연구에서는 매개변수를 최적화하는 데 있어서 다른 형태의 목적함수를 적용하여 모델의 적합성을 살펴봄으로써, 모델의 이용방안에 따른 목적함수의 차이를 살펴볼 수 있을 것이며, 모델의 목표 결정계수를 두고 어떤 최적화 방법이 가장 빠르게 해를 찾아내는 지를 비교 분석하여 보다 효율적인 최적화 알고리즘을 연구함으로써 모델의 현장적용에 있어 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

REFERENCES

- Choi, M. H., J. H. Ahn, J. H. Kim & Y. N. Yoon. 2001. Parameter Estimation for Nash Model and Diskin Model by Optimization Techniques. *Korean Society of Hazard Mitigation* 1(3): 73-82. (in Korean)
- Jin G. G. & S. R. Joo. 2000. A Study on a Real-Coded Genetic Algorithm. *Journal of control, automation and systems engineering* 6(4): 268-275. (in Korean)
- Kim, C. & S. G. Kim. 2004. Parameter Optimization of TANK Model using Geographic Data. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 24(6B): 553-560. (in Korean)
- Kim, J. S., Y. I. Moon, & T. S. Oh. 2005. A Study on Parameter Optimization for Estimation of Probability Maximum Flood in Hoengseong Dam Basin. *Journal of the Institute of Industrial Technology* 13: 51-58. (in Korean)
- Kim, T. S., I. W. Jung, B. Y. Koo, & D. H. Bae. 2007. Optimization of Tank Model Parameters Using Multi-Objective Genetic Algorithm(I): Methodology and Model Formulation. *Journal of Korea Water Resources Association* 40(9): 677-685. (in Korean)
- Lee, S. H. & S. U. Kang. 2007. A Parameter Regionalization Study of a Modified Tank Model Using Characteristic Factors of Watersheds. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 27(4B): 379-385. (In Korean)
- M. Gen & R. Cheng. 1997. *Genetic algorithms and engineering design*. John-Wiley & Sons, Inc., N.Y.
- Moon, B. R., 2008. *Easy to learning Genetic Algorithm*. Hanbit media, Seoul. (in Korean)
- Park H. N. & W. C. Cho. 2006. Derivation of a Tank Model with a Conceptual Rainfall-Infiltration Process. *Journal of Korea Water Resources Association* 39(1): 47-57. (in Korean)
- Sugawara, M.. 1972. A method for runoff analysis, *Kyoritsu Shuppan Press*, Tokyo. (in Japanese)
- Klaus Meffert. Java Genetic Algorithms Package, <http://jgap.sourceforge.net>, Accessed 5 Dec. 2008.
- Korea Water Resource Corporation. 1999. A Study about the optimization for planning water resource(III): Evaluating safety and Development of planning framework for water supply. Goyang, Gyeonggi.: Korean Institute of Construction Technology.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. 1997. Survey of development methods about water management techniques. Goyang, Gyeonggi.: Korean Institute of Construction Technology.