

유전자 알고리즘을 이용한 동적계획법의 저수지 운영 최적화 방안에 관한 연구

신홍준*, 김태순**, 허준행***

1. 서론

본 논문에서는 수자원 시스템의 최적화를 위한 여러 가지 연구방법 중, 최근에 새로운 기법으로 부각되고 있는 유전자 알고리즘(genetic algorithms)과 다차원문제에 적용이 용이한 증분동적계획법(incremental dynamic programming)을 이용한 최적화 방안에 대해서 연구하였다.

증분동적계획법은 저수지가 다차원인 경우에 발생하는 '차원의 저주(curse of dimensionality)'를 해결하기 위한 여러 가지 방법중의 하나로, 차원의 개수가 늘어나더라도 계산시간이 비교적 빠르고 컴퓨터의 메모리 용량도 적게 필요로 하는 장점을 가지고 있지만, 계산과정에서 반드시 필요한 초기케적을 결정하는 과정이 쉽지 않은 단점을 지니고 있다. 본 연구에서는 이와 같은 증분동적계획법의 단점인 초기케적 설정의 어려움을 보완하기 위해서 유전자 알고리즘을 통한 초기케적 설정과정을 도입하고, 이와 같은 방법을 통한 최적화 모형을 한강유역에 적용하여서 적용성을 살펴보는 데 목적이 있다.

2. 기본이론

2.1 동적계획법

본 연구에서 적용할 모형의 기본이론은 성긴 격자법을 이용하는 동적계획법 기법 가운데 하나인 증분 동적계획법을 사용하였다. Hall 등(1968)에 의해 제안된 이 기법은 동적계획법의 순환방정식을 푸는데 이용되는 반복계산과정이다.

기본적으로 이 계산과정은 시행정책 $R_i(R_i \in \{R\}, i=1, \dots, i)$ 을 대응결과로 생성되는 허용상태벡터의 연속과정으로 나타나는 시행상태케적 $X_i(X_i \in \{X\}, i=1, \dots, i)$ 를 가정함으로써 시작할 수 있고, 시행조건에 대응하는 목적함수 F 를 가정할 수 있다. 동적계획법의 순환방정식은 초기 케적선에 이웃하여 설정된 상태변수의 고정된 증분치의 제약조건 집합 내에서 계산된다. 이 계산과정에서 목적함수를 개선시키는 새로운 케적선이 발견되면 이 새로운 케적선은 다음 계산단계의 시행케적선으로 이용된다. 이와 같은 반복적 계산과정은 더 이상 목적함수가 개선되지 않거나 어떤 조건외의 수렴기준을 만족시킬 때까지 계속 반복된다. 이러한 증분 동적계획법을 사용하면 그 결과가 전 영역 최적해(global optimum)를 보장할 수 없고 국부 최적해(local optimum)밖에 보장할 수 없다는

* 정회원 · 연세대학교 토목공학과 박사과정 · 02-393-1597 (E-mail: sinong@yonsei.ac.kr)

** 정회원 · 연세대학교 토목공학과 박사과정 · 02-393-1597 (E-mail: chaucer@chollian.net)

*** 정회원 · 연세대학교 공과대학 사회환경·건축공학부 토목전공 교수 · 02-2123-2805 (E-mail: jhheo@yonsei.ac.kr)

단점은 있으나, 동적계획법의 단점인 계산량과 계산시간 등을 단축할 수 있다는 장점 때문에 증분 동적계획법을 채택하였다.

본 연구에서는 이 증분동적계획법의 단점을 보완하기 위해 초기제적값을 유전자 알고리즘을 이용하여 구한 후 증분동적계획법을 시행하고 다시 어떤 수렴조건을 만족시킬 때까지 반복하여 최적해의 변화추이를 검토하여 해가 국부 최적해에 빠지는 것을 최소화하였다.

2.2 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘은 자연선택의 법칙인 자연진화 이론으로부터 나온 탐색기법으로 생물체의 유전이나 진화과정을 모방하여 최적화 모형에 적용하는 추계학적인 탐색모형인데, 이 방법을 유전자 알고리즘이라 하는 이유는 최적화 하고자 하는 변수를 컴퓨터 비트내의 문자로 표현하는 것이 염색체나 유전자 등과 유사성이 있다는 사실에 기인한 것이며, 이 과정에서 목적함수의 형태나 최적화 과정의 수학적 고려는 사실상 없다. 유전자 알고리즘은 초기에 무작위로 초기 모집단을 형성하고 이들을 부모세대로 하여 선택, 교배, 돌연변이 등의 연산과정을 거쳐 부모세대보다 진화한 새로운 자식세대를 생성하게 된다. 유전자 알고리즘은 진화과정에서 유전자 개체군의 형태와 성질을 모방하여 이용하는데 이것은 주어진 최적화 문제에 대한 잠재적인 가능해라고 할 수 있다. 그 후 적합도를 평가하여 선별된 우수한 개체들의 결합을 통해 보다 적합한 개체를 생성시킨다. 적자생존의 법칙에 따라 보다 좋은 개체들이 생성되는데 이것은 좋은 해가 많이 생겨난다는 의미뿐만 아니라 보다 더 나은 해를 얻을 수 있다는 것도 의미하는 것이다. 이것은 보다 우수한 자식을 생산하기 위해서 부모역할을 하는 개체의 가장 좋은 특성들이 결합되기 때문에 가능한 것인데 이러한 결합과정을 교배(crossover)라 한다. 교배를 통한 재결합에 비트 내 문자들의 무작위 변형을 허용하기도 하는데, 이러한 과정을 돌연변이(mutation)라고 하는데, 이것은 유전자 알고리즘이 보다 좋은 해를 찾도록 하는 역할을 한다.

3. 모형의 적용

3.1 목적함수

본 연구의 목적함수는 당해년도의 수문사상과 상관없이 다음 년도에 필요한 저류량을 공급한다는 의미에서 매년 말기저류량을 총저류량의 60%에 근접하도록 설정하였으면, 홍수기의 시작과 끝에 해당하는 6월말과 9월말의 저수위를 제한수위에 맞추도록 설정하였다. 또한, 용수공급량의 증대를 위해서 6월과 9월을 제외한 나머지 달에서는 방류량을 최대화하도록 했다.

$$\sum_{i=1}^{12} \left\{ \sum_{j=1}^3 (u_{ij} - \delta_i^1 (X_{ij} - X_j^1)^2 - \delta_i^2 (X_{ij} - X_j^2)^2 - \delta_i^3 (X_{ij} - X_j^{60\%})^2) \right\} \quad (1)$$

여기서, i 는 월, j 는 저수지를 의미하며, u_{ij} 는 j 댐의 i 월의 방류량, δ_i^{1-3} 은 i 에 따라서 0 또는 1을 가지는 함수값으로 제한수위를 설정하기 위한 6월, 9월과 말기저류량을 설정하기 위한 12월에서는 1이 되며, 나머지 달에서는 0이 되는 값이며, X_{ij} 는 j 댐의 i 월의 저류량, X_j^{1-3} 은 j 댐의 제한수위, $X_j^{60\%}$ 는 j 댐의 총저류량의 60%에 해당하는 저류량이다.

3.2 상태방정식

화천댐, 소양강댐, 충주댐에 대한 상태방정식은 각 댐의 물수지 방정식을 고려하여, 아래 식과 같이 일반적으로 나타낼 수 있다.

$$R_i = X_i - X_i^f + I_i - Eva_i \quad (2)$$

여기서, R_i 는 i 댐의 방류량, I_i 는 i 댐의 유입량, X_i 는 i 댐의 월초저류량, X_i^f 는 i 댐의 월말저류량, 그리고, Eva_i 는 i 댐의 증발량을 의미한다.

팔당댐의 상태방정식은 상류댐의 방류량에 남한강과 북한강 사이에서 들어오는 지류유입량을 추가하고 팔당댐에서 공급하는 수도권 광역상수도 취수량을 제외한 아래 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_p = X_p - X_p^f + R_{cp} + R_{cj} - Eva_p + I_{in} - D_p \quad (3)$$

여기서 R_p 는 팔당댐의 방류량, X_p 는 월초 팔당댐의 저류량, X_p^f 는 월말 팔당댐의 저류량, R_{cp} 와 R_{cj} 는 청평댐과 충주댐의 방류량, Eva_p 는 팔당댐의 증발량, I_{in} 는 지류유입량, D_p 는 팔당댐 내에서의 취수탑을 통한 광역상수도 취수량이다.

3.3 제약조건

본 모형에서 필요한 제약조건으로는 각 댐의 최대, 최소 저류량과 최대, 최소 방류량, 홍수기 상시만수위를 고려한 저류량, 초기 저류량 등을 들 수 있다.

$$X_{min} \leq X_t \leq X_{max} \quad (4)$$

$$R_{min} \leq R_t \leq R_{max}$$

여기서, X_t 는 t 월의 저류량, X_{min} 과 X_{max} 는 저류량의 최소값과 최대값을 나타내고, R_t 는 t 월의 방류량, R_{min} 과 R_{max} 는 방류량의 최대값과 최소값을 나타낸다.

3.4 유전자 알고리즘

본 연구의 유전자 알고리즘에서 사용한 선택, 교배, 돌연변이 연산자는 각각 토너먼트 선택방법(tournament selection)이고, 교배 연산자는 일점교배(single point crossover), 돌연변이 연산자는 균등 돌연변이(uniform mutation)를 사용하였다.

표 1. 유전자 알고리즘에 사용되는 연산자

유전 연산자	유전 연산자 값
염색체 길이	48
모집단 크기	30
교배율	0.7, 0.75
돌연변이율	0.01, 0.02
최대발생횟수(generation)	100

4. 모형적용 결과

증분동적계획법을 적용하는데 있어서 최대 반복횟수는 200번으로 제한했고, 목적함수값의 변화가 프로그램에서 설정한 일정한 변화폭내로 수렴하면 최적값을 구한 것으로 판단했다. 유전자 알고리즘에서 구한 초기계적은 우선 돌연변이율 0.01, 교배율 0.7인 경우를 시작으로 4가지 경우에 대해서 시행한 후에 목적함수값을 가장 최적의 값으로 만드는 경우를 최적해로 가정했다. 모형적용결과 유입량이 비교적 많았던 1990년의 경우는 유전자 알고리즘에서 구한 초기계적과는 비교적 상이한 최적해를 증분동적계획법을 통해서 얻을 수 있었으며 반복횟수도 최대 111회인 경우에 수렴값을 얻을수 있었고, 유입량이 상대적으로 적었던 1994년에는 4가지 경우 모두 반복횟수 10회 이내에서 수렴이 이루어졌다.

그림 1~2는 유입량이 비교적 많았던 1990년의 저류량을 나타낸 것이고, 그림 3~4는 유입량이 상대적으로 적었던 1994년의 저류량을 나타낸 것으로, 각각 다목적법인 소양강댐과 충주댐의 경우를 도시한 것이며, 그림 1~2는 반복횟수 62회인 경우에 수렴이 이루어 졌고, 그림 3~4는 반복횟수 2회인 경우에 수렴값을 얻을수 있었다. 그림에서 실선은 유전자 알고리즘에서 구한 초기계적값이고 점선은 유전자 알고리즘에서 구한 초기계적을 이용해서 증분동적계획법을 수행한 결과를 나타낸 것이다.

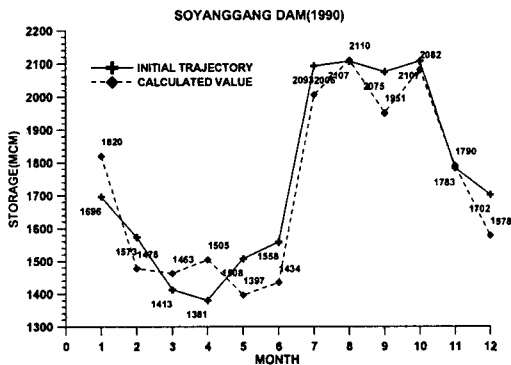


그림 1. 소양강댐(1990년)

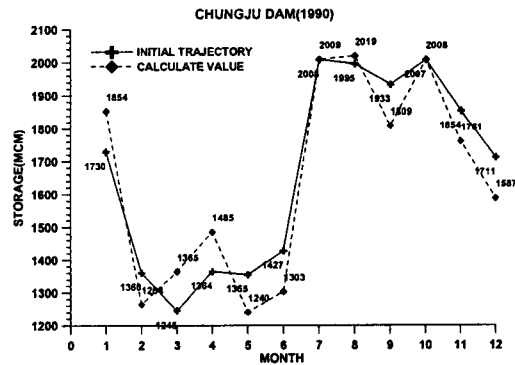


그림 2. 충주댐(1990년)

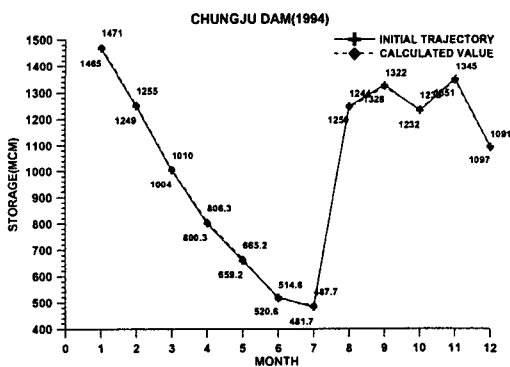


그림 3. 소양강댐(1994년)

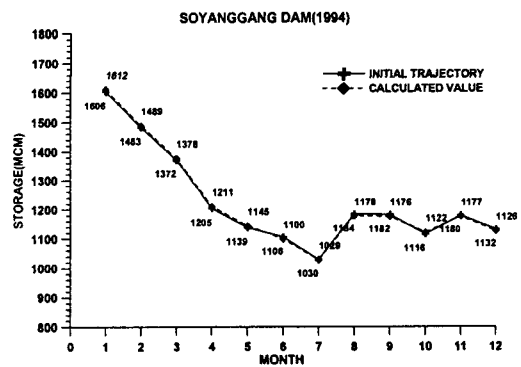


그림 4. 충주댐(1994년)

5. 결론

본 연구는 증분동적계획법의 초기제적을 산정하는데 따른 단점을 해결하고자 유전자 알고리즘을 적용했으며, 주어진 초기제적을 이용해서 최적값을 찾기 위해서 증분동적계획법을 적용하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

① 유전자 알고리즘을 1971년~1995년의 화천댐, 소양강댐, 충주댐의 기왕 유입량 자료를 이용하여 한강수계 댐군의 연계운영 최적화에 적용한 결과, 비교적 적은 반복횟수내에서 최적값을 찾을 수 있었고, 이 값을 증분동적계획법의 초기제적값으로 이용할 수 있었다.

② 유전자 알고리즘을 이용해서 최적화를 수행하면 선형계획법이 가지고 있는 비선형-선형간의 변환에 따른 오차발생의 문제나 동적계획법의 적용에 따른 국부최적해 발생이나 초기제적값 고려와 같은 문제를 고려하지 않고, 비교적 빠른 수렴속도와 적합도가 높은 증분동적계획법의 초기제적값을 얻을 수 있었다.

③ 유전자 알고리즘으로부터 구한 최적해를 증분동적계획법의 초기제적으로 이용하는 기법을 사용한 결과, 유전자 알고리즘의 전영역 최적해를 탐색하는 장점과 적은 양의 메모리를 요구하는 증분동적계획법의 빠른 계산속도를 적절히 혼합한 최적화 기법을 개발할 수 있었으며, 상호간의 feedback을 통해서 목적함수값을 최적화 할 수 있었다.

참고문헌

- Hall, W. A., Butcher, W. S., and Esogbue, A. (1968). "Optimization of the operation of a multiple- purpose reservoir by dynamic programming." *Water Resources Research*, 4(3), pp.471-477.
- Wardlaw, R., and Sharif, M. (1999). "Evaluation of genetic algorithms for optimal reservoir system operation", *J. of Water Resources Plgn and Mgnt*, 125(1), pp. 25-33.