

유전자알고리즘을 이용한 최적화 기법의 개발

김 태순 ¹⁾, 신 흥준 ²⁾, 허 준행 ³⁾

1. 서론

유전자알고리즘은 1970년대 중반 Holland(Holland, 1975)에 의해서 만들어진 최적화기법의 일종으로서, 최근에는 Goldberg(1989), Michalewicz(1996)등에 의해서 machine learnig, 시간표(time table)작성, 최단경로(shortest path) 찾기 등의 여러 가지 최적화 문제에 폭넓게 적용되고 있으며, 수자원분야에서는 주로 관망의 최적화문제에 적용되어왔다(Goldberg와 Kuo, 1987). 유전자알고리즘을 저수지운영의 최적화문제에 적용한 경우는 Oliveria와 Loucks(1997)이 저수지의 운영률을 구하는데 유전자알고리즘을 적용했으며, 국내에서는 신흥준(2001)이 한강수계 댐군의 최적화에 유전자알고리즘을 적용한 사례가 있다. 본 연구에서는 유전자알고리즘을 화천댐에 적용해서, 저수위 변화에 따른 용수공급량의 변화를 분석해보고자 한다.

2. 유전자알고리즘

유전자알고리즘(genetic algorithms, GA)은 하나의 세대(generation)를 이루는 개체(chromosome)가 사용자의 의도에 맞게 변화하면서 최적값을 찾아가는 과정으로 말할 수 있다. 일반적으로 유전자알고리즘의 특징을 언급할 때 다음의 4가지를 말한다(Goldberg와 Kuo, 1987).

- ① GA는 하나의 매개변수 각각을 이용하는 것이 아니라, 매개변수의 군(set)을 이용해서 최적화를 실시한다.
- ② GA는 하나의 점에서 최적값을 찾아나가는 것이 아니라, 세대내의 개체에서 동시에 최적값을 찾아나간다.
- ③ GA는 목적함수에 관한 특정한 수학적 표현을 요구하지 않고, 목적함수값(payoff)만을 이용한다.
- ④ GA는 확률개념을 이용해서 개체를 변화시킨다.

1), 2) 연세대학교 대학원 토목공학과 수공학연구실 박사과정

3) 연세대학교 사회환경시스템공학부 토목환경공학전공 교수, 공학박사

유전자알고리즘에서 가장 기본적으로 사용하는 연산자는 개체를 직접 변화시키는 돌연변이연산자(mutuation operator)와 교배연산자(crossover operator)가 있으며, 개체를 표현하는 방법에 따라서, 이진코딩법(binary coding)과 실수코딩법(real-value coding)으로 나눌 수 있다. 이와 같이 기본적인 연산자만을 이용해서 구현된 유전자알고리즘을 SGA(simple genetic algorithms)이라고 말하며, 일반적으로 제약조건이 아주 엄격하거나, 목적함수가 특이한 형태를 가지지 않는 한, SGA만으로도 충분히 좋은 결과를 얻을 수 있다.

이진코딩법의 경우에는 돌연변이연산자나 교배연산자가 개체를 구성하는 이진수의 변화만으로 간단히 구현될 수 있는 장점이 있는 반면에, 개체를 이루는 비트중에서 자리수가 큰 왼쪽의 비트가 변화된다면 너무 큰 변화가 일어나는 단점이 생길 수 있다. 또한, 같은 영역의 제약조건을 가정한 경우, 실수코딩법에 비해서 필요한 메모리의 용량이 상당히 커지기 때문에, 동적계획법의 ‘차원의 저주(curse of dimensionality)’와 유사한 메모리 용량면의 제약이 생기게 된다. 실수코딩법은 이진코딩법이 가지고 있는 메모리용량면의 단점이 없고, 각 최적화문제에 알맞은 고유의 개체(chromosome)를 구성하기가 용이하지만, 돌연변이나 교배와 같은 연산자가 개체를 변화시켰을 때 각 개체에 주어진 제약조건을 위반하지 않도록 조정하거나, 제약조건 위반에 따른 페널티(penalty)가 각 개체에 적절히 주어지도록 조정해야한다.

3. 모형구성과 적용

본 연구에 적용한 모형은 실수코딩법으로 개체를 구성한 유전자알고리즘으로, 연산자는 돌연변이연산자와 교배연산자만을 사용했고, 화천댐에 관한 질량 보존방정식을 만족시키기 위해서 각 세대별로 상태조건을 만족시키도록 개체를 조정했다. 모형에 사용한 저수지에 관한 질량 보존방정식은 다음 식 (1)의 형태를 가진다.

$$S(t+1) = S(t) + I(t) - R(t) - Eva(t) \quad (1)$$

여기서, $S(t+1)$ 과 $S(t)$ 는 각각 시간단위 $t+1$ 과 t 의 저류량, $I(t)$ 는 유입량, $R(t)$ 는 방류량, $Eva(t)$ 는 증발량이다. 유전자알고리즘의 목적함수는 각 개체가 가지고 있는 페널티를 줄이도록 하는데 가장 큰 가중치를 주었으며, 초기 저류량은 값을 고정했고, 홍수기가 시작되는 6월말의 저류량과 이수기가 시작되는 9월말의 저류량, 그리고 연말의 저류량을 목표값에 접근하도록 구성했다. 또한, 용수 공급을 위한 발전방류량을 증가시키고, 전체기간에 걸쳐서 저류량의 증가를 나타내도록 구성했다. 다음의 식 (2)는 목적함수를 나타낸다.

$$\text{Objective fn.} = \sum_0^{11} HP + \sum_0^{11} S(i) - \sum_{6,9,12} S_j - \text{penalty} \quad (2)$$

여기서, HP는 수력발전량, $S(i)$ 는 저류량, S_j 는 해당월의 목표저류량과의 차이, penalty는 제약조건 위반정도를 나타내는 값이다. 유전자알고리즘의 교배율과 돌연변이율은 각각 0.8과 0.15를 사용했으며, 목적함수의 가중치를 고정하고, 화천댐에 2000년에 발생한 유입량자료를 이용해서 유전자알고리즘을 적용한 결과 적절한 모집단의 개체수를 1000개, 최대세대수는 1000세대로 결정했다. 식 (2)에서 페널티는 0이 되는 것이 알맞은 값이지만, 화천댐에서 북한강에 공급하는 유지용수량으로 1971년~2000년까지의 매년도별 월평균 발전방류량의 최소값을 평균한 값인 23cms(12.4MCM)를 적용했기

때문에, 패널티가 발생하는 경우도 생길 수 있다.

화천댐은 저수위가 발전가능수위인 156.8m(저류량 360.4MCM, 사수량)이며 현재의 댐 설비로는 이보다 낮은 수위에서는 발전방류를 통한 용수공급이 불가능한 실정이지만, 평화의댐 공사시에 임시로 설치한 비상방류구에 수문을 설치하는 공사를 통해서 발전을 하지 않는 경우에 수위를 150.0m(저류량 251.9MCM)까지 낮출 수 있으며, 이는 결과적으로 약 1억 8백만톤의 용수공급량 증대를 가져올 것으로 기대된다. 본 연구에서는 1990년에서 1999년까지의 실적유입량자료를 입력자료로 활용하고, 최적화기법은 유전자알고리즘을 사용해서, 저수위를 156.8m로 가정했을 경우와 150.0m로 가정했을 경우의 용수공급량의 차이를 살펴보았다.

그림 1은 기준년으로 가정한 2000년의 경우, 세대수 1000세대, 개체수 1000개를 택했을 경우의 최고적합도와 평균적합도, 그리고 분산을 도시한 것이다. 개체수가 1000개에 이르더라도, 반복횟수(세대수)가 100정도에 다다르면 최적값이 일정값에 수렴하는 경향이 있음을 알 수 있다. 표 1은 각각 저수위 156.8m인 경우와 156.0m인 경우의 용수공급량을 나타낸 것으로서, 각 연도마다 10회씩 반복 수행한 결과의 평균값이다. 표에서 볼 수 있는 바와 같이, 저수위 156.0m인 경우가 저수위 150.0m인 경우보다 10년 평균치로 약 1억 2천만톤 정도의 용수를 더 공급한 것을 알 수 있다.

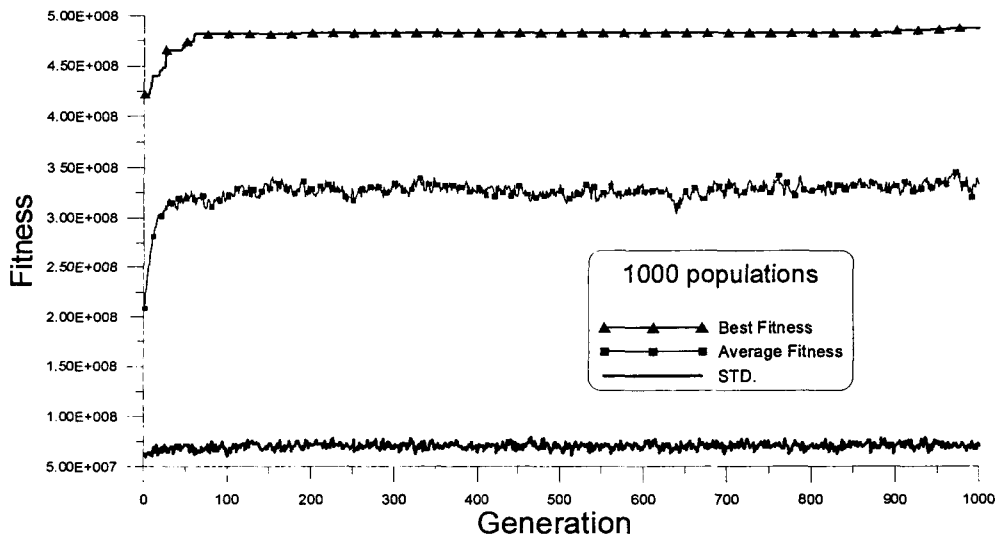


그림 1. 세대수 1000세대일때의 적합도 수렴결과

4. 결론

본 연구에서는 유전자알고리즘의 저수지운영에의 적용성을 살펴보았다. 저수지운영과 같이 목적함수가 여러 가지의 목적을 만족시켜야하고, 제약조건이 다수가 존재하는 최적화문제에 유전자알고리즘을 적용시키면, 동적계획법이 가지고 있는 ‘차원의 저주’나 초기조건이 필요한 것과 같은 문제점을 피할 수 있으며, 계산시간의 단축도 가능할 것으로 판단된다. 또한, 본 연구에서 진행한 1차원 저수지문제는 손쉽게 다차원저수지 문제로 확장할 수 있으며, 돌연변이나 교배와 같은 기본적인 연산자 이외에 전도(inversion)연산자 등과 같은 확장연산자의 적용을 고려한다면, 좀 더 전영역최적해에

가까운 최적값을 얻어낼 수 있을 것이다.

표 1. 저수위의 차이에 따른 용수공급량 산정

	월	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
	저수위 150.0m (A)	1	145.2	24.3	164.5	72.0	6.8	21.5	15.4	15.6	187.4
2		27.0	129.8	63.3	533.8	116.2	149.7	134.8	113.3	209.1	73.2
3		191.3	118.9	288.1	102.4	92.3	260.5	14.5	49.8	9.3	110.6
4		131.3	237.6	325.4	128.1	165.1	69.8	86.1	212.6	15.2	150.7
5		684.2	224.0	9.8	537.9	0.1	158.2	31.0	7.2	228.0	59.1
6		941.6	179.2	212.5	204.4	351.9	176.6	187.1	479.1	599.0	138.7
7		1516.8	203.2	337.6	620.5	144.2	457.9	1704.0	136.8	580.2	260.8
8		737.6	247.8	57.4	291.4	202.7	2391.3	5.1	255.5	1265.1	1689.8
9		961.4	165.9	377.7	13.6	34.0	95.8	131.9	276.0	99.1	379.5
10		206.2	187.7	49.4	144.5	193.2	188.9	93.3	27.2	166.6	241.2
11		117.0	87.2	87.7	70.3	83.1	308.2	133.6	239.9	53.7	183.0
12		502.3	32.2	68.7	26.0	53.4	19.1	12.8	86.1	46.4	16.5
합계		6161.8	1837.8	2042.0	2745.0	1442.8	4297.4	2549.5	1899.2	3459.0	3386.8
저수위 156.8m (B)	1	100.39	101	99.66	101.94	101.61	100.61	94.06	29.11	105.27	96.89
	2	114.3	102.0	124.7	118.0	96.8	112.4	85.6	96.8	115.5	99.2
	3	152.1	105.2	142.0	121.8	88.9	113.9	86.6	92.5	104.6	102.2
	4	125.6	125.1	110.0	122.0	97.5	103.8	98.8	98.7	100.6	102.7
	5	442.6	105.9	207.0	366.2	106.5	103.2	99.9	103.3	157.6	109.5
	6	1053.1	112.2	143.9	469.6	119.2	99.9	99.1	177.2	136.2	105.0
	7	1565.3	375.0	223.4	530.6	103.9	411.2	1386.6	307.4	706.0	117.9
	8	510.4	261.4	353.7	414.5	292.1	2607.1	206.0	104.2	1320.4	1813.1
	9	1201.7	116.0	100.0	103.7	104.9	96.4	73.1	114.1	32.7	358.9
	10	125.9	100.5	113.9	104.4	112.5	103.0	93.6	102.6	98.6	143.1
	11	103.7	100.0	129.9	101.4	111.6	126.4	97.7	103.2	85.4	102.6
	12	347.0	197.7	275.4	154.4	106.0	281.5	99.7	174.2	99.2	224.1
	합계	5842.0	1802.0	2023.3	2708.3	1441.5	4259.3	2520.7	1503.2	3062.0	3375.0
A - B 차이		319.8	35.8	18.6	36.7	1.3	38.1	28.9	396.0	397.0	11.8

참고문헌

Goldberg, D. E. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization, Machine Learning*. Addison-Wesley.

Goldberg, D. E., and Kuo, C. H. (1987). "Genetic Algorithms in Pipeline Optimization", *Journal of Computing in Civil Engineering*, ASCE, 1(2), 128-141.

Holland, J. H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial System*. MIT Press.

Michalewicz, Z. (1996). *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*. Springer.

Oliveria, R., and Loucks, D. P. (1997). Operating Rules for Multireservoir Systems. *Water Resources Reseach*, 33(4), 839-852.

신홍준 (2001). 유전자 알고리즘을 이용한 한강수계 댐 운영의 최적화 방안, 연세대학교 석사학위 논문.