

유전자 알고리즘을 활용한 DIROM 모형 매개변수 최적화

홍준혁*, 최영제*, 이재응*

*아주대학교 건설시스템공학과

e-mail:john3168@ajou.ac.kr

Parameter Optimization of DIROM using Genetic Algorithm

Jun-Hyuk Hong*, Young-Je Choi*, Jae-Eung Yi*

*Department. of Civil System Engineering, Ajou University

요약

국내 저수지 중 가장 큰 개소수를 차지하고 있는 농업용 저수지는 최근 이수측면의 농업용수 공급과 더불어 치수측면의 하천유지용수 공급, 홍수조절 등 농업용 저수지의 활용 목적이 확대되어 운영되고 있다. 이에 따라 농업용 저수지의 정확도 높은 장기유출량 산정이 중요해지고 있으나 현재 농업용 저수지의 장기유출량 산정을 위해 사용되고 있는 DIROM 모형은 1980년대에 개발된 이후 현재까지 특별한 개선 없이 사용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 DIROM 모형의 매개변수 개선을 위해 최근 수문자료 관측을 시작한 국내 농업용 저수지를 대상으로 DIROM 모형의 매개변수를 유전자 알고리즘을 통해 추정하고자 하였다. 유전자 알고리즘의 목적함수는 모의 유입량과 실측 유입량의 평균제곱근오차를 최소화하는 것으로 설정하였다. 평가 결과 기존 매개변수를 이용한 모의 유입량보다 최적화된 매개변수를 이용한 모의 유입량이 실측 유입량과의 상관성이 높고, 총 유입량 측면에서도 실측 유입량에 좀 더 근접하게 모의된 것을 확인 할 수 있었다. 이에 따라 장기적으로 수집된 실측 유입량 자료를 이용한다면 좀 더 정확도 높은 장기유출량 산정을 통해 농업용 저수지에서의 안정적인 용수공급이 가능할 것이라 사료된다.

1. 서론

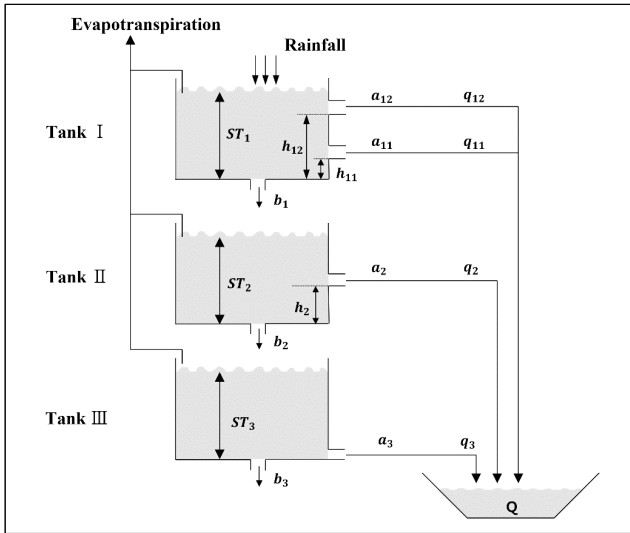
국내 농업용 저수지는 약 17,000개로 국내 저수지 중 가장 큰 개소수를 차지하고 있다. 농업용 저수지는 본래 농업용수의 공급을 목적으로 건설되었으나, 최근 농업용수 공급과 더불어 하천유지용수 공급, 홍수조절 등 농업용 저수지의 활용 목적이 확대되고 있다. 이에 따라 안정적 용수공급, 가뭄대응 등의 이수문제 해결을 위해 농업용 저수지의 정확도 높은 장기유출량 산정이 중요해지고 있다. 현재 농업용 저수지의 장기유출량 산정을 위해 TANK 모형을 수정한 DIROM 모형이 사용되고 있다. 이 모형은 각 TANK의 매개변수가 유출량에 큰 영향을 미치며 현재 활용되고 있는 모형의 매개변수는 1980년대에 개발된 이후 현재까지 특별한 개선 없이 사용되고 있다. 하지만 최근 우리나라의 강우특성이 변화함에 따라 유출특성 또한 변하고 있어, 매개변수를 최근 변화에 맞게 개선할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 DIROM 모형의 매개변수 개선을 위해 실측자료를 기반으로 최적화된 매개변수를 산정하고, 이에 대한 평가를 진행하고자 하였다.

2. 기본 이론

2.1 DIROM 모형

DIROM 모형은 농업용 저수지의 일별 유입량을 모의발생하기 위하여 Sugawara의 TANK 모형을 우리나라 관개용 저수지의 유역 특성에 맞게 수정한 것으로서 3단 TANK를 직렬로 연결하여 유역의 지표유출, 중간유출, 기저유출을 각 성분별로 재현할 수 있도록 개념화한 모형이다.

[그림 1]은 DIROM 모형의 개념도를 나타낸 것이며 1단 TANK는 유출성분 중 지표유출을 나타내고, 2단 및 3단 TANK는 각각 중간유출 및 기저유출을 나타낸다. 1단 TANK의 유출공 수를 2개로 한 것은 홍수유출시 오차를 1개일 때보다 감소시키기 위한 것이다. 3단 TANK의 유출공의 높이를 0으로 한 것은 강우가 없을 경우의 초기 기저유출량을 표현하기 위한 것이며, 또한 저류수심은 유출공의 높이보다 커야만 유출공에서의 유출이 발생하게 된다.



[그림 1] DIROM 모형 개념도

DIROM 모형의 주요 매개변수는 각 탱크의 저류수심, 유출공의 크기, 유출공의 높이, 침투공의 크기 등이 있으며, 각 매개변수는 유역면적, 토지이용상태(논, 밭, 산림 면적비율)에 대한 회귀식으로 정의된다. [표 1]은 현재 사용중인 DIROM 모형의 매개변수 산정 회귀식이다.

[표 1] DIROM 모형 매개변수 산정 회귀식

구분	매개변수	내용	회귀식
1단 TANK	A11	유출공의 크기	$-0.00414 * padd + 0.169$
	A12	유출공의 크기	$-0.00175 * forst + 0.333$
	H11	유출공의 높이	5.00
	H12	유출공의 높이	$16.68 * \ln(area) + 24.2$
	B1	침투공 크기	$-0.07 * \ln(area) + 0.47$
	ST1	저류수심	0.00
2단 TANK	A21	유출공의 크기	$-0.00657 * uplan + 0.163$
	H21	유출공의 높이	$\exp(-0.0934 * uplan + 2.0904)$
	B2	침투공 크기	$0.00998 * padd + 0.111$
	ST2	저류수심	0.00
3단 TABK	A31	유출공의 크기	$-0.000267 * uplan + 0.00912$
	H31	유출공의 높이	0.00
	B3	침투공 크기	$-0.00618 * \ln(area) + 0.0351$
	ST3	저류수심	$43.686 * \ln(area) + 37.159$

*area : 유역면적, uplan : 밭 면적비율, padd : 논 면적비율, forst : 산림 면적비율

2.2 유전자 알고리즘

강우-유출 모형의 정확성 향상을 위해서는 모형 매개변수의 합리적 추정이 필요하다. 수문모형의 매개변수 추정을 위해 다양한 공식을 통해 이론적으로 계산할 수는 있으나 유출모의 결과의 정확성을 보장하기에는 어려움이 있다. 따라서 최근에는 실측자료를 활용하여 유출모형의 최적 매개변수를 추정하는 연구들이 수행되고 있다.

본 연구에서는 DIROM모형의 최적 매개변수 추정을 위해

유전자 알고리즘을 활용하였다. 이 방법은 자연 선택의 과정을 모사하여 해를 찾아가는 알고리즘으로서 결과가 안 좋은 해는 진화 과정에서 도태되고, 더 나은 해를 나타내는 개체는 살아남는 유전학적 특성을 기반으로 하는 최적화 알고리즘이다. 유전자 알고리즘은 최적해의 탐색에는 탁월한 성능을 발휘하지만 최적해 근처에 머물면서 최종 목표치로 수렴하는데 많은 시간이 소요되는 한계가 있다.

3. 유전자 알고리즘에 의한 매개변수 최적화

3.1 대상 저수지 및 기초자료 구축

본 연구에서는 농업용 저수지 중 강원도 철원의 잠곡저수지, 경상북도 문경의 경천저수지를 대상저수지로 선정하였다. 실측 유입량은 각 농업용 저수지 수로부의 실측 방류량과 저수지 저류량 데이터를 물수지 방정식을 이용, 역산하여 산정하였다. 유출모의를 위한 강우자료로는 각 농업용 저수지 주변 AWS, ASOS 관측소에서 관측한 2019년 일 자료를 활용하여 산정한 유역의 일 평균강우량을 활용하였다. 지형자료는 DEM 자료와 토지피복도 자료를 이용하였다. [표 2]는 대상 유역의 유역 특성인자를 나타낸다.

[표 2] 저수지 별 유역 특성인자

저수지	area(km ²)	uplan(%)	padd(%)	forst(%)
잠곡저수지	2000	2.188	3.064	92.550
경천저수지	9375	7.263	4.984	82.828

3.2 유전자 알고리즘 모형 구축

유전자 알고리즘으로 유출모형의 매개변수를 추정하기 위해서는 모형의 매개변수 초기값이 필요하다. 각 유역의 매개변수 초기값으로는 [표 1]의 기존 DIROM 모형 매개변수 산정 회귀식을 이용하여 산정된 값을 이용하였고, 각 매개변수의 범위는 Sugawara가 제시한 매개변수 범위를 이용하였다. [표 3]은 Sugawara가 제시한 DIROM 모형의 매개변수 범위 및 저수지 별 초기값을 나타낸다.

매개변수 최적화를 위해 본 연구의 유전자 알고리즘 모형에서는 평균제곱근오차(RMSE)를 최소화하는 목적함수를 이용하였다. 모의기간은 2019년 1월 1일부터 2019년 12월 31일 까지 총 1개년이며, 당시의 강우량 및 유출량 자료를 활용하여 매개변수 최적화를 수행하였다.

[표 3] DIROM 모형 매개변수 범위 및 저수지 별 초기값

매개변수	하한	상한	잠곡저수지	경천저수지
A11	0	0.5	0.156	0.148
A12	0	0.5	0.171	0.188
A21	0.03	0.1	0.177	0.211
A31	0.005	0.1	0.009	0.007
H11	5	60	5.000	5.000
H12	5	60	74.169	99.938
H21	0	50	6.593	4.104
B1	0	0.5	0.260	0.152
B2	0.01	0.1	0.142	0.161
B3	0.005	0.1	0.017	0.007
ST3	10	400	168.031	235.521

3.3 최적 매개변수 추정 결과

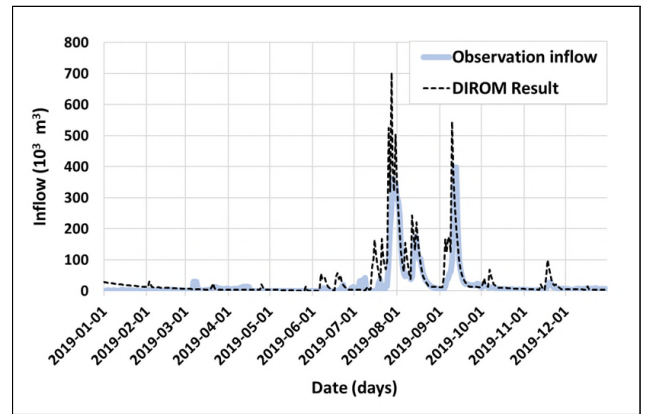
유전자 알고리즘 활용하여 DIROM 모형의 매개변수 최적화 결과는 [표 4]와 같다. 추정된 매개변수의 적합성을 판단하기 위해 본 연구에서는 실측자료와 최적 매개변수가 반영된 DIROM 모형의 유출결과를 비교하였다. 또한 기존 매개변수가 반영된 DIROM 모형의 결과를 추가적으로 비교하여 DIROM 모형의 정확성 개선 정도를 판단하고자 하였다.

[표 4] 저수지 별 최적화 매개변수

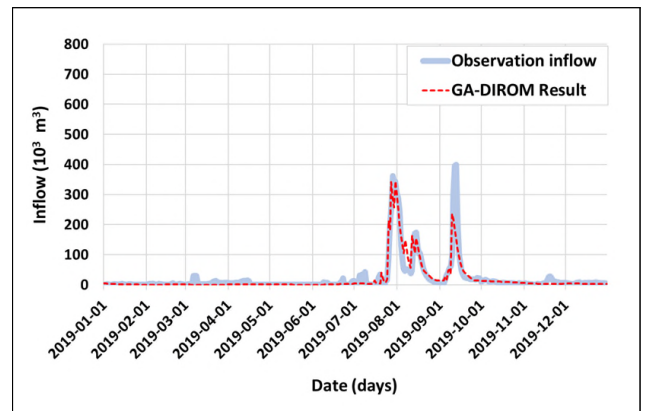
매개변수	잠곡저수지	경천저수지
A11	0.030	0.002
A12	0.078	0.002
A21	0.096	0.099
A31	0.011	0.007
H11	48.250	59.165
H12	54.937	59.568
H21	43.642	33.957
B1	0.090	0.455
B2	0.081	0.098
B3	0.052	0.075
ST3	21.252	112.293

[그림 2]는 잠곡저수지의 2019년 실측 유입량과 기존 매개변수를 활용하였을 때의 모의 유입량 및 2019년 실측 유입량과 최적화된 매개변수를 활용하였을 때의 모의 유입량을 나타낸다. [그림 3]은 경천저수지의 2019년 실측 유입량과 기존 매개변수를 활용하였을 때의 모의 유입량 및 2019년 실측 유입량과 최적화된 매개변수를 활용하였을 때의 모의 유입량을 나타낸다. [표 5]는 저수지 별 기존 매개변수 및 최적 매개변수를 활용한 모의 유입량의 연 총 유입량을 비교하였다. 잠곡저수지에서는 기존 매개변수를 활용하여 모의한 결과 연 총 유입량이 실측유입량과 약 $5,118 \times 10^3 m^3$ 차이가 발생한 반면 최적 매개변수를 적용하여 모의하였을 때는 약 $550 \times 10^3 m^3$ 차이가 발생하였다. 경천저수지의 경우에는 기존 매개변수 적용결과 실측유입량과 약 $57,610 \times 10^3 m^3$ 차이가 발생하였고, 최적 매개변수를 적용한 결과에서는 3,389

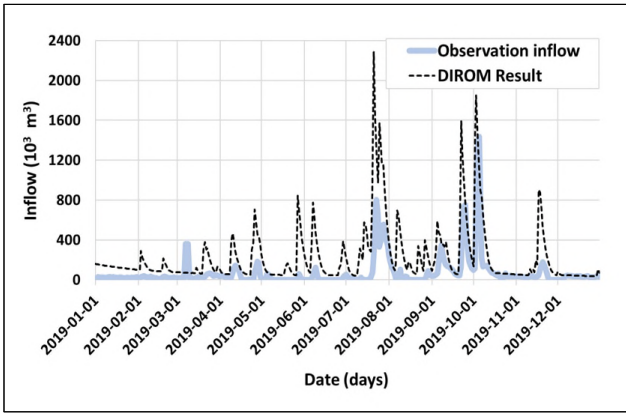
$\times 10^3 m^3$ 차이가 발생하였다. [표 6]은 저수지 별 2019년 실측 유입량과 기존 매개변수를 활용하였을 때의 모의 유입량의 상관계수(CC)와 평균제곱근오차(RMSE), 2019년 실측 유입량과 최적화된 매개변수를 활용하였을 때 모의 유입량의 상관계수(CC)와 평균제곱근오차(RMSE)를 비교하였다. 대상 유역 모두 최적 매개변수를 활용한 모의 유입량이 실측 유입량에 비하여 침투유입량이 적게 추정되었다. 그러나 최적 매개변수를 활용한 모의 유입량이 기존 매개변수를 활용한 모의 유입량에 비하여 실측 유입량과의 상관계수(CC)는 각각 0.90, 0.82로 높게 나타났고, 평균제곱근오차(RMSE)는 각각 25.78, 92.57로 낮게 나타났다. 이를 통해 본 연구에서 추정된 매개변수를 적용한 DIROM 모형의 결과가 기존 매개변수를 적용한 모형에 비하여 더 높은 정확성을 갖는다는 것을 확인하였다.



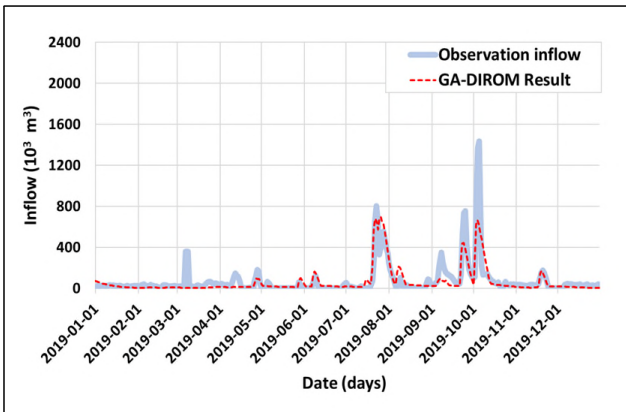
(a) 기존 매개변수 적용 결과



(b) 최적 매개변수 적용 결과
[그림 2] 잠곡저수지 유출모의 결과



(a) 기존 매개변수 적용 결과



(b) 최적 매개변수 적용 결과

[그림 3] 경천저수지 유출모의 결과

[표 5] 저수지 별 연 총 유입량($10^3 m^3$) 비교

저수지	실측 유입량	DIROM 모의 결과	
		기존 매개변수	최적 매개변수
잠곡저수지	7,708.2	12,826.3	7,157.7
경천저수지	26,759.2	84,369.3	23,370.2

[표 6] 저수지 별 상관계수(CC) 및 평균제곱근오차(RMSE) 비교

저수지	기존 매개변수		최적 매개변수	
	CC	RMSE	CC	RMSE
잠곡저수지	0.78	52.89	0.90	25.78
경천저수지	0.69	280.85	0.82	92.57

4. 결론

최근 활용도가 증가하고 있는 농업용 저수지는 관측 수문 자료의 부족 등의 문제로 이수측면에서의 체계적인 저수지 관리가 수행되지 못하였다. 이수관리를 위해서는 정확도 높은 저수지의 장기 유입량 산정이 중요하다. 하지만 농업용 저수지의 장기유출량 산정을 위한 DIROM 모형은 실측자료가 부재하다는 이유로 개발당시의 매개변수를 현재까지 활용하고 있었다. 하지만 최근 일부 농업용 저수지에서 수문관측이 수행됨에 따라 본 연구에서 실측저수지 유입량을 활용하여 DIROM모형의 매개변수를 최적화하고자 하였다.

이를 위해 잠곡저수지 및 경천저수지를 대상저수지로 선정하였고 2019년의 실측자료를 기반으로 유전자 알고리즘을 적용하여 DIROM 모형의 매개변수를 최적화하였다. 최적화된 매개변수 평가를 위해서는 최적 매개변수를 적용한 유출모의 결과와 기존 매개변수를 적용한 유출모의 결과, 실측 유입량을 비교하였다. 그 결과 최적 매개변수를 적용하였을 때 기존 매개변수를 적용한 결과에 비하여 연 총 유입량이 실측 유입량에 더 가까워지는 것을 확인하였으며 상관계수 및 RMSE 등 평가지표에서도 큰 증가를 보이는 것을 확인하였다.

저수지의 용수관리는 저수지의 유입량에 크게 의존함에 따라 정확한 장기유출량 산정은 매우 중요한 의미를 가진다. 본 연구에서는 농업용 저수지의 유출량 모의를 위해 실측 유입량 기반의 최적화 과정을 거쳐 정확도 높은 매개변수를 추정하였다. 향후에는 더 장기간의 실측자료 수집을 통해 더 정확도 높은 장기 유출모의가 가능할 것으로 판단되며, 나아가 안정적인 농업용수 관리를 통한 농업생산력 확대에 기여할 수 있을 것이라 사료된다.

참고문헌

- [1] 안지현, “유역 경사에 따른 TANK 모형 매개변수 추정을 위한 회귀식 개발”, 석사학위논문, 서울대학교 대학원, 8월, 2013년
- [2] 김철, 김석규, “지형자료를 이용한 TANK 모형의 매개변수 최적화”, 대한토목학회논문집 B, 24(6B), pp. 553-560, 11월, 2004년
- [3] 송정현, 정건희, 강문성, “최적화 기법을 이용한 수문모형의 매개변수 보정방법 소개 -MATLAB 프로그램을 중심으로-”, 한국농공학회지, 제 56권 2호, pp. 16-25, 5월, 2014년
- [4] 장중석, “수문모형과 매개변수의 이해”, 한국관개배수논문집, 제 10권 1호, pp. 95-102, 6월, 2003년

감사의 글

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 농업기반 및 재해대응 기술개발 사업의 지원을 받아 연구되었습니다. (320004-01)