

다목적 유전자 알고리즘을 이용한 우수유출 저류지 최적화 방안

Optimization of Detention Facilities by Using Multi-Objective Genetic Algorithms

정 재 학* / 한 건 연** / 김 극 수***
Chung, Jae Hak / Han, Kun Yeun / Kim, Keuk Soo

Abstract

This study is for design of the detention system distributed in a watershed by the Multi-Objective Genetic Algorithms(MOGAs). A new model is developed to determine optimal size and location of detention. The developed model has two primary interfaced components such as a rainfall runoff model to simulate water surface elevation(or flowrate) and MOGAs to get the optimal solution. The objective functions used in this model depend on the peak flow and storage of detention. With various constraints such as structural limitations, capacities of storage and operational targets. The developed model is applied at Gwanyang basin within Anyang watershed. The simulation results show the maximum outlet reduction is occurred at detention facilities located in upper reach of watershed in the peak discharge rates. It is also reviewed the simultaneous construction of an off-line detention and an on-line detention. The methodologies obtained from this study will be used to control the flood discharges and to reduce flood damage in urbanized watershed.

keywords : Detention, Multi-Objective Genetic Algorithms(MOGAs), Pareto optimal solution

요 지

본 연구의 목적은 다목적 유전자 알고리즘을 이용하여 우수유출 저류지를 소유역에 분담하여 설치·계획하는데 있다. 이를 위해 우수유출 저류지의 위치 및 규모를 최적화하기 위한 모형을 개발하였다. 이 모형은 크게 2가지로 나뉘어 지는데, 유역유출모형과 최적해를 구하기 위하여 도입한 다목적 유전자 알고리즘(MOGAs)이다. 이러한 최적화 모형을 모의하기 위하여 목적함수는 첨두유출량과 저류지 저류용량의 함수로 설정하고, 제한조건은 기본적으로 구조적 제한과 저류용량 및 운영목적에 따라 설정하였다. 본 연구를 위해 만들어진 최적화 모형은 안양시 관양유역에 실제 적용해 보았으며, 그 결과 주어진 제약조건내에서 상류지역에 저류지가 설치되는 경우가 최적값으로 나타난 것을 통해 적절하게 잘 모의된 것으로 보인다. 그밖에 On-line 및 Off-line 저류지가 동시에 건설되는 경우에도 함께 최적

* 국립방재교육연구원 방재연구소 시설연구사
Researcher, National Institute for Disaster Prevention, Seoul 121-719, Korea
(e-mail: blueboat@nema.go.kr)

** 교신저자, 경북대학교 공과대학 토목공학과 교수
Prof., Dept. of Civil Engineering, Kyungpook Univ., Daegu 702-701, Korea
(e-mail: kshanj@knu.ac.kr)

*** 한국건설기술연구원 하천·해안연구실 박사후연구원
Post-Doc, River & Coast Research Division, Korea Institute of Construction Technology, Goyang-Si 411-712, Korea
(e-mail: keuksookim@kict.re.kr)

화 모의가 가능한지도 살펴보았다. 본 연구를 통해 제시한 방법론은 향후 도시구역내의 홍수피해 저감계획시 활용될 수 있을 것이다.

핵심용어 : 우수유출 저류지, 다목적 유전자 알고리즘, 파레토 최적해

1. 서론

최근 국내 수해의 특징은 하류부 하천에서 발생하는 것 보다는 중상류 지역의 하천에서 많이 발생하는 양상을 가지고 있다. 이는 하류지역에 위치하는 국가하천에 비해 정비수준이 낮은 것도 하나의 원인이지만, 최근 이상기후 등으로 인한 태풍 및 집중호우로 인하여 설계빈도를 상회하는 경우가 많아진 때문이기도 하다.

특히 중상류 지역에 위치한 도시구역의 경우 침수위험에 대한 대책마련이 도시화로 인하여 곤란한 경우가 많이 있는데, 이는 하천 인근의 도시집중화로 인하여 하천 확폭 등 하천중심의 대책마련이 어려운 경우가 많기 때문이다.

따라서, 도시지역 하천에 대한 수해대책으로 우수저류 및 침투시설의 정비 등을 통해 침수피해 대책을 추진하여야 할 필요가 있다. 특히 하천과 유역의 홍수배분계획을 기초로 하여 소규모 유역에서 우수유출 저류지를 통한 홍수량 배분 등을 통해 홍수조절용량을 확보할 수 있다.

이를 해결하기 위해 저류지에 최적운전을 위한 시스템을 구성할 필요가 있으며, 이러한 시스템은 최적화 목적에 따라 크게 저류지 운영시스템(reservoir operation system)과 저류지-하천 연계시스템(reservoir-river system)으로 나눌 수 있다. 저류지 운영시스템은 저류지의 방류량, 저류용량 및 발전량 등의 비용-편익 등과 같은 문제에 대한 최적화로써, 저류지 자체 운영에 목적을 둔 것이라 한다면, 저류지-하천 연계시스템의 경우 저류지의 운영에 따라 하류부의 피해를 최소화하기 위한 최적화 시스템이라 할 수 있다.

저류지-하천 연계시스템 최적화에 대한 연구는 오래 전부터 시작되어 왔다. Windsor(1973)은 홍수피해와 침투유출량을 선형관계로 가정하고 선형 최적화모형을 개발하였다. 목적함수는 총 홍수 피해액이 최소화하는 것으로 하였으며 제약조건으로는 저류지 추적에 위해 Mass balance equation을 사용하고, 하도추적은 Muskingum 법, 최대 저류용량, 최대 허용방류량, 피해지역에서의 최대 유출량 등을 설정하였다. Mays *et al.*(1986)은 Texas의 콜로라도 강에서 실시간 다중 저류지 시스템의 운영을 위한 모형을 개발하였다. 이 모형은 강우유출모형과 미 기상청의 DWOPER 모형을 결

합하였다. Unver and Mays(1990)는 하천과 저류지가 연계된 체계에서 실시간 최적 홍수조절 방법론을 개발하였다. 이 방법은 DWOPER와 비선형 프로그램인 GRG2 모형을 결합 하였다. 목적함수는 총 홍수피해를 최소화하는 것을 기초로 하였으며, 홍수 취약지구에서 홍수위와 홍수유출량의 함수로서 나타내었고 Texas의 콜로라도 강의 Travis 호수에 대하여 적용하였다. Unver and Mays는 홍수발생시 다중 저류지의 운영에 있어 목적함수로서 총 홍수피해를 최소화하거나 또는 특정지역에서 수위 또는 유량을 목표값으로 최적화하도록 하는 방법을 제시하였다.

최근에 El-Said Mohamed(2006)는 홍수발생시 최적 저류지 방류정책을 제시하기 위하여 FEQ(Full Equation)모형으로 하천-저류지 시스템의 동역학적 모의를 실시하였고, SA(Simulating Annealing) 최적화 기법으로 확정론적 운영정책을 제안하였다.

이외에 유전자 알고리즘을 이용한 저류지 최적운영에 대한 연구동향을 살펴보면, Esat and Hall(1994)은 유전자 알고리즘을 4개의 저류지 문제에 적용하였다. 즉 4개의 저류지 문제에 대하여 전력 생산량을 최대화하는 것을 목적함수로 두고, 관계용수공급을 위해 저류지의 저류량과 방류를 제한하였다. 이러한 연구를 통해 표준 동적계획법(standard dynamic programming)기법보다 유전자 알고리즘이 계산시간에 있어 장점이 있는 것을 증명하였다. 또한, Fahmy *et al.*(1994)도 저류지 시스템에 유전자 알고리즘을 적용하였는데, 동적계획법(DP)과 유전자 알고리즘 기법을 비교하였다. 그들은 유전자 알고리즘이 큰 유역 시스템에 적용하는 경우 동적계획법에 비해 잠재성이 높다는 것으로 결론 내렸다. Wardlaw and Sharif(1999)는 유전자 알고리즘을 사용하여 4개의 저류지에 대한 합리적인 해를 구하기 위한 연구를 수행하였다. 다양한 매개변수에 대한 민감도 분석을 통하여 몇몇 가능한 모형을 만들었으며, 실수 표현형, 혼합경쟁선택, 엘리티즘, 균등교배, 수정균등 돌연변이 등을 사용하여 가장 적절하고 효과적인 결과를 도출하였다. 특히, 추계학적으로 생산된 유입량에 대해 실시간 운영을 하는데 유전자 알고리즘을 만족할 만한 수준으로 사용할 수 있음을 보여주었다.

국내의 경우 유전자 알고리즘을 이용한 저류지 운영 최적화에 대한 연구를 살펴보면, 박봉진 등(1997)은 저

류함수법을 이용하여 대청댐 유역의 과거 홍수사상을 모의하였는데, 이 때 유전자 알고리즘을 이용하여 사용한 8개의 매개변수를 보정하였다. 이길성 등(2004)은 유전자 알고리즘을 사용하여 낙동강수계의 월단위 운영방안을 제시하였다. 목적함수는 전력생산을 최대화 하고 하천보장유량의 부족을 최소화 하는 것으로 하였다. 그 결과 유전자 알고리즘은 동적 계획법(DP)보다 더 효과적인 최적 운영방안을 도출하는 것을 확인할 수 있었다. 김태순(2005)은 다중 저수지에 대하여 다목적 유전자 알고리즘 기법의 하나인 NSGA-II를 적용하였으며, 이를 통해 NSGA-II 모형이 다중 저수지 운영최적화 문제에 적용할 수 있음을 보여주었으며 얻어진 결과를 이용해서 계산된 방류량과 저류량값은 하류부의 용수공급을 증가시키는 효과가 있는 것을 보여주었다.

본 연구에서 살펴보고자 하는 저류지 위치 및 규모의 최적화 문제에 대하여 최근 연구동향을 살펴보면, 이정식, 이재준 등(1995)에 의해 도시유역내 저류시설의 크기와 위치를 산정할 수 있는 회귀곡선식을 산정한 바 있으며, 이재준 등(2007)은 도시유역 저류지의 위치관련 변수에 대한 검토를 위하여 유역내의 임의의 지점에 저류지를 설치하여 유출저감효과를 분석하고 위치관련 변수에 대하여 수문학적으로 분석하였고, 박민규 등(2007)은 저류지 예비설계를 위해 국내의 지침 등으로 산정된 저류지 용량을 기준으로 홍수조절용량 추정을 위한 모형을 검토하여 예비설계 또는 평가와 관련된 기술을 도입하기 위한 기초연구를 실시하였다.

본 연구에서는 중소규모 유역에 있어서 홍수량 분담을 위한 우수유출 저류지 설계를 위해 저류지의 설치위치와 규모를 다목적 유전자 알고리즘을 활용하여 최적화하고자 하였다.

2. 모형 개발

2.1 최적화 모형의 구성

1960년대부터 다양한 최적화 문제를 해결하기 위하여 자연현상을 흉내낸 알고리즘이 개발되어 왔다. 대표적인 것들로는 모의진화(Simulated Evolution), 유전자 알고리즘(Genetic Algorithms), 진화전략(Evolution Strategies), 시뮬레이티드 어닐링(Simulated Annealing), 터부 탐색(Tabu search) 등이 있다. 이중 유전자 알고리즘은 유전학과 자연진화라는 자연현상을 알고리즘 형태로 모델링한 확률적 탐색법으로써, 최근에는 목적함수를 1개만 사용하는 것이 아니라 여러개를 사용하여 최적화할 수 있는 다목적 유전자 알고리즘(Multi-Objective Genetic Algorithms)을 많이

사용하고 있다. 실제 현장에서는 여러개의 목적을 가지는 최적화 문제가 더 많이 있으며, 이러한 경우 다목적 유전자 알고리즘을 통해 모든 목적을 동시에 만족시킬 수 있는 목적해 집단을 찾아내는데 효과적이다.

본 연구에서는 중소규모 유역의 저류지 위치와 규모를 최적화하기 위하여 기본적으로 최적화 툴(optimizer)과 수치모형 툴(simulator)로 나누어 모형을 개발하였다. 최적화 툴은 모형틀에 입력될 여러 가지 입력변수들의 모집단에서 가장 좋은 입력변수를 산출하게 되고, 모형틀에서는 이러한 입력변수에 대한 모의를 통하여 그 결과를 다시 최적화 툴로 전해줌으로써 최적화 툴이 가장 적절한 값을 구하는데 피드백 역할을 할 수 있도록 한다. 즉 상호 자료의 교환과 공유를 통해 최적화하는 것이다. 이러한 기본 구성을 원칙으로 하여 최적화 툴로는 다목적 유전자 알고리즘을 이용하고, 수치모형 툴로는 유역유출모형과 수위-저류량-방류량 관계를 산정하는 모형을 사용하였다.

유전자 알고리즘에서는 저류지의 규모와 위치 등의 설계인자를 염색체의 형태로 제시하게 되며, 이러한 설계인자를 바탕으로 유역유출모형의 저류지 홍수추적을 위한 수위-저류량-방류량 관계곡선을 산정하게 된다.

이렇게 산정된 자료를 바탕으로 해당유역의 유출해석을 하게 되면, 그 결과 목표지점에서의 수위 또는 첨두유출량이 산정되고 이는 다시 최적화툴의 적합도 검정을 통해 재생산, 교배 및 돌연변이 등 유전자 알고리즘의 연산을 수행한다. 그 결과 다시 저류지 규모와 위치 등의 설계인자가 생산되고 앞서 기술한 사항을 반복하게 된다(Fig. 1).

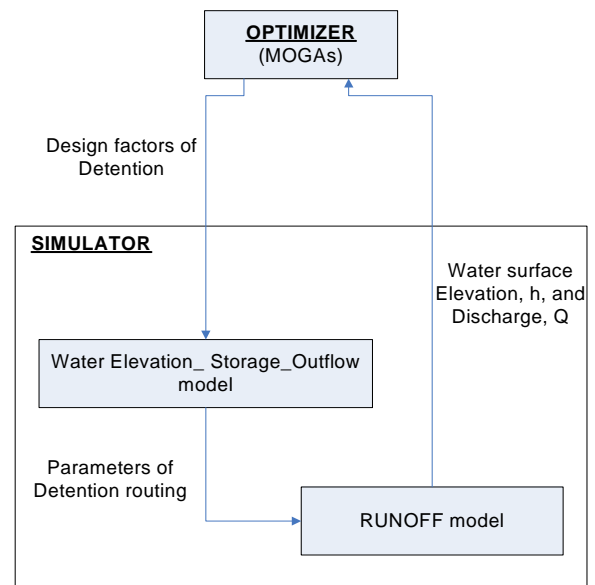


Fig. 1. Optimal Control Approach to Operation Problems

2.2 최적화 툴(Optimizer)

최적화 툴을 구성하기 위하여 다목적 유전자 알고리즘을 이용하였으며, 이러한 MOGAs를 통한 모형을 개발하기에 앞서 목적함수(objective function)와 제약조건(constraint)을 어떻게 주는가가 매우 중요하며 일반적으로 최적화 모형에서 저류지 최적운영문제를 설명하기 위해서 아래와 같이 나타낼 수 있다.

- 목적함수 : 홍수영향을 받는 지역에서의 총 피해량
→ 최소화
 - 제약조건 : 수리학적 지배를 받는 물리법칙, 저류지 방류량 및 저수위, 특정지점에서의 수위 등
- 목적함수는 관심지역에서 홍수사상에 의해 야기되는 총 피해로 정의되는데, 본 연구에서는 다목적 유전자 알고리즘에서 아래와 같은 목적함수를 제시하였다.

- ① 목표지점에 대한 수위의 함수
: 평탄한 경사를 가지는 지역으로 유속이 작고 수심이 깊은 유역
- ② 목표지점에 대한 유량의 함수
: 급경사를 가진 하천으로 수심은 얇고 유속이 빠른 유역
- ③ 목표지점에 대한 수위와 유량의 함수
: 하도구간에서 급경사 및 완경사를 함께 가지는 유역으로 상하류를 모두 포함하는 유역

본 연구에서는 상류지역 소유역에 대한 검토를 위해 상기에 제시된 목적함수중 2번째 목적함수인 목표지점에 대한 유량의 함수와 저류지 저류용량을 최소화 하는 것을 목적함수로 선정하여 검토하였다.

$$\text{Minimize } f_1 = |Q_{target} - Q_{cal}| \quad (1a)$$

$$\text{Minimize } f_2 = \sum_{i=1}^n S_i \quad (1b)$$

여기서, Q_{target} 은 목표지점에서의 목적 침투유출량, Q_{cal} 은 목표지점에서 저류지 설치후 침투유출량, S_i 는 i 번 저류지 저류량이고 n 은 해당 유역에 설치되는 저류지 개수이다.

제약조건의 경우 크게 3가지로 나눌 수 있는데 구조적 제약조건, 수리학적 제약조건과 운영상 제약조건이다. 구조적 제약조건은 저감시설 자체에 대한 제약조건으로 저감시설 규모에 대한 상한치와 하한치 또는 저감시설 설치개소수 등이 될 수 있다. 수리학적 제약조건이라 함은 하천 흐름을 나타내는 방정식이라 할 수 있다. 즉 모의하는 모형에서 고려되어야 할 수리학적 조

건이다. 본 연구에서 사용되는 MacCormark 기법은 유한차분기법으로서 비교적 알고리즘이 단순하기 때문에 하천흐름해석을 위해 많이 사용되어 왔다. 다만, MacCormark 기법은 양해법으로써 계산의 안정성이 부족하기 때문에 강한 충격과의 해석에는 적용하기 힘들며, 불연속점 근처에서는 수직진동이 발생하기도 한다는 것이 수리학적 제약조건이라 할 수 있다.

운영상 제약조건들은 기본적으로 운영목적, 구조적 제약조건, 저류용량 등으로 정의되는 형태의 제약조건보다 크거나 작을 수 있다. 결국 운영상 제약조건은 최적화 툴인 유전자 알고리즘에서 고려되어야 할 것이다. 여기서, 운영이라 함은 저류지 수문조작 등의 운영을 의미한다. 따라서 이러한 목적함수와 제약조건을 바탕으로 다목적 유전자 알고리즘을 기반으로 하는 최적화 모형을 개발하였으며 알고리즘은 Fig. 2와 같다. 다음은 본 연구에서 사용된 제약조건을 간략하게 식으로 나타내었다.

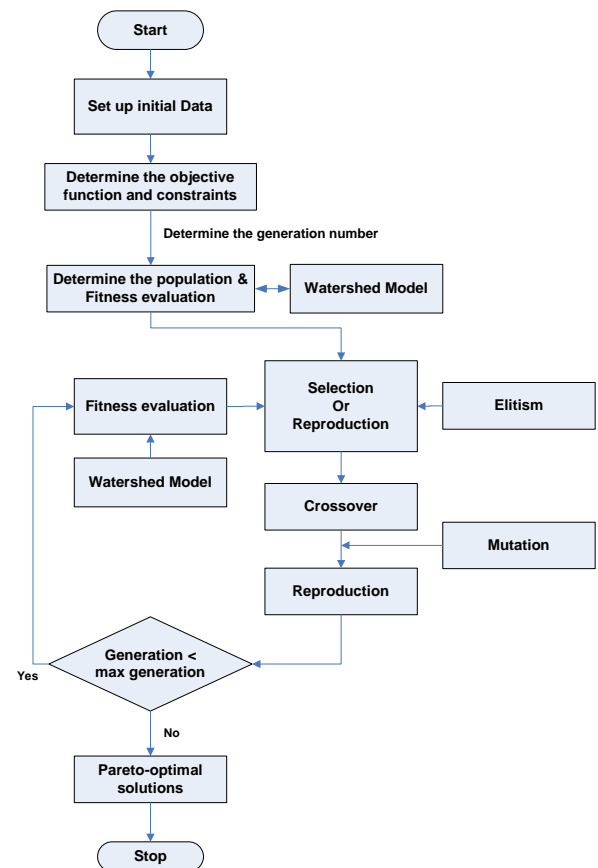


Fig. 2. Flowchart of Optimization using MOGAs

$$\text{설치위치 : } STOR_{min} \leq LOC(I) \leq STOR_{max} \quad (2a)$$

$$\text{저류용량 : } VOL_{min} \leq VOL \leq VOL_{max} \quad (2b)$$

$$\text{소유역 허용방류량 : } Q \leq Q_{max} \quad (2c)$$

$$\text{저류지 높이} : h < 3m \quad (2e)$$

$$\text{저류지 방류관 크기} : D_{min} \leq D \leq D_{max} \quad (2f)$$

여기서 I 는 설치 개수, $LOC(I)$ 는 저류지 설치위치, $STOR_{min}$ 는 저류지 최소 설치 위치 또는 개소수, $STOR_{max}$ 는 저류지 최대 설치 위치 또는 개소수, VOL 은 저류지 저류용량, VOL_{min} 는 저류지 최소저류용량, VOL_{max} 는 저류지 최대저류용량이며, Q_{max} 는 최대방류량, D_{max} 는 최대 방류관 직경, D_{min} 는 최소 방류관 직경이다.

2.3 수치모형 툴(Simulator)

소규모 유역에서의 우수유출량 저감을 위한 우수유출 저류지(detention)의 규모와 위치에 대한 최적화를 위해 유역과 저류지 네트워크를 모의할 수 있는 유역유출모형을 이용하여 홍수유출량 등을 산정하고자 하였다.

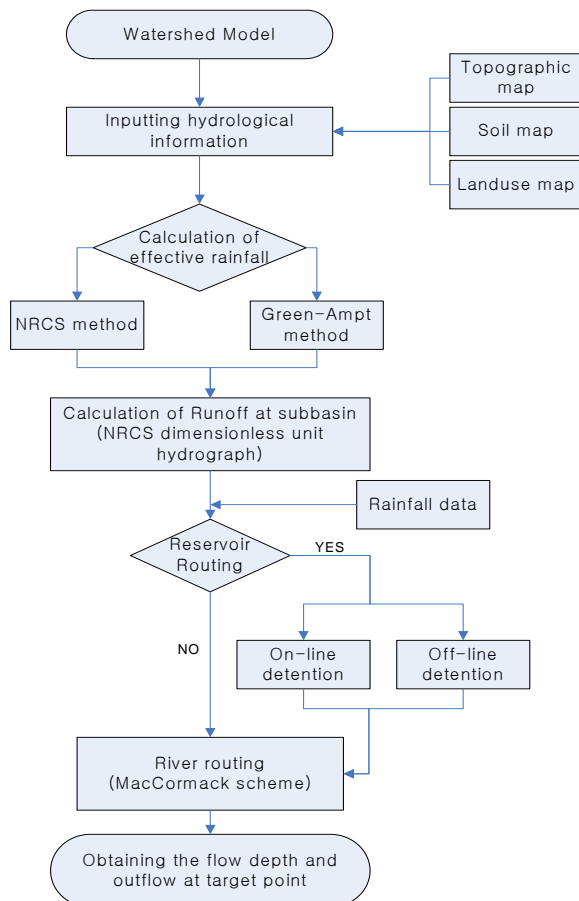


Fig. 3. Flowchart of Watershed Model

유역유출모형은 강우량 산정을 위하여 확률강우강도식 또는 실제 강우사상을 이용할 수 있도록 하였으며,

유효강우량 산정을 위해 NRCS법을 사용하였다. 유출량은 USDA(United States Department of Agriculture)의 NRCS 무차원 단위도법을 사용하였다. 하도추적에서는 상하류단 경계면 설정을 위해 특성곡선법과 함께 유한차분모형인 MacCormack기법을 이용하였다. 그밖에 저류지 추적을 위해서는 수정 Puls법을 사용하였다.

3. 최적화 모형의 적용

3.1 대상유역

안양시 관양유역 하천은 소규모 유역으로 총 유역면적은 0.99 km²로 유로연장은 1,533 m 유역 최대폭은 642.3 m 정도이며, 평균 하상경사는 0.0283으로 수지상 유역이다. 해당지구는 대부분 지역이 논과 밭으로 이루어져 있으며, 하류부는 학의천으로 유입되며 인근에는 갈현천이 흐르고 있다.

대상유역은 유역내의 수계와 지형학적 특성을 고려하여 총 7개의 소유역으로 구분하였다. 본 연구에서는 홍수피해를 최소화 하기 위한 목표지점을 설정하여야 하며 Fig. 4와 같이 유역의 최종 하류부를 목표지점으로 설정하였다.

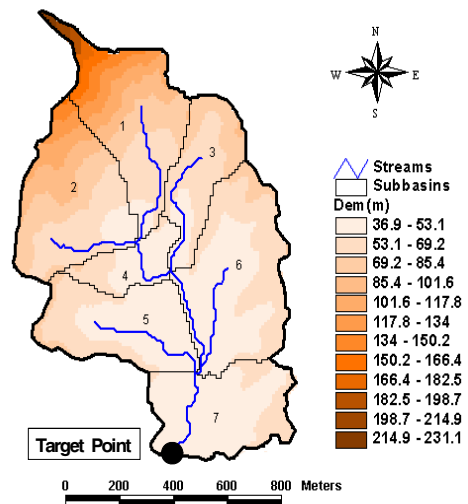


Fig. 4. River System in Study Area (Gwanyang basin)

3.2 저류지 설치에 대한 최적화

안양 관양유역에 대하여 저류지 1개소 및 2개소가 설치되는 경우를 설정하여 설치 소유역과 규모에 대한 최적화를 검토하여 보았다. 앞서 설명한 바와 같이 목적함수는 침투유출량과 저류용량을 목적함수로 두는 것으로 하였으며, 설치되는 저류지는 On-line 홍수저류지이며 Fig. 5에서와 같이 설치가능한 소유역은 총 6개이다.

Table 1. Topographic Factors in Gwanyang Basin

Subbasin	Area (m ²)	Basin Slope(%)	Length (m)	Stream Slope(%)
1	171,500	16.81	539.78	5.89
2	175,900	12.26	362.89	3.77
3	97,000	5.12	489.80	3.12
4	56,500	5.05	249.02	1.49
5	142,200	4.54	491.02	2.02
6	205,900	4.78	408.02	1.22
7	141,100	4.32	336.43	0.87



Fig. 5. Allowable Positions for On-line Detention

제약조건으로써, 저류지 규모는 1,000~19,000 m³, 방류관의 크기는 0.8~2 m의 범위를 가지는 것으로 가정하고 최소단위는 0.1 m로 가정하였다.

최적화 문제를 분석하기 전에 먼저 안양관양지구에 대한 강우분석을 위해 수문기상대의 42개년(1964년~2005년) 자료를 이용하였으며, 강우분석은 FARD 프로

그램을 이용하였다. 이를 통해 50년빈도에 대한 확률강우량을 채택하고 이를 바탕으로 강우유출모형을 모의하였는데, 이는 저류지 설계를 위해 재해영향평가제도에 의한 설계방식을 채택하여 설정하고자 하였다. 또한, 최적화를 위한 유전연산자는 염색체 개수 70, 세대수 100, 교배확률 0.75, 돌연변이 확률 0.01로 설정하였다.

본 연구에서는 최적해를 산정하기 위하여 파레토 최적해를 이용하였으며, 목적함수에 의한 저감 목표값은 저류지 설치후 첨두유출량의 10 %를 저감하는 것으로 하였다.

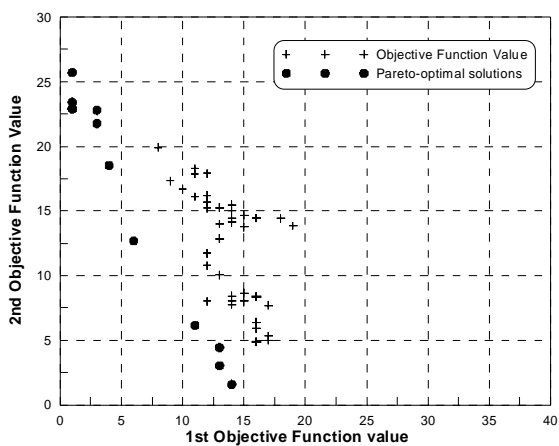
Table 2에서 보는바와 같이 저류지를 1개에서 2개까지 설치할 경우에 대하여 모두 상류지역에 설치하는 것이 좋은 것으로 제시되었으며, 저류용량은 총 14,000 m³으로 동일하게 나타났다. 이상의 결과에서 보는바와 같이 저류용량을 최소화하면서 하류부에 목표로 하는 목표 홍수량을 기대하기 위해서는 상류지역에 설치하는 것이 좋은 것으로 나타났으며, 기대한 결과값이 도출된 것으로 보인다.

Table 2. Results of Pareto-optimal Solution

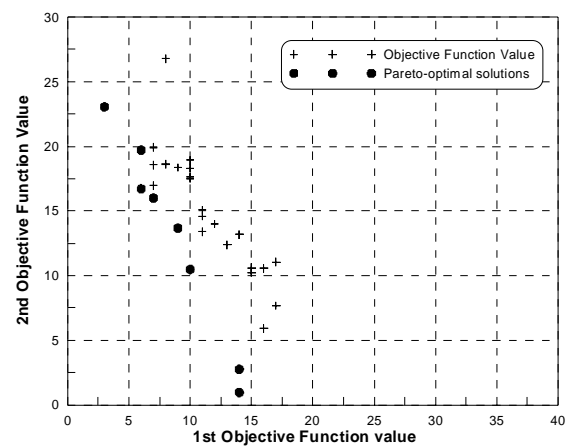
No. of detention	Subbasin No.	Storage(10 ³ m ³)	Diameter(cm)
One	1	14	120
Two	1, 2	7, 7	100, 100

3.3 Off-line 저류지와 연계된 경우 최적화

Off-line 저류지는 아래 Fig. 7과 같이 상류, 중류, 하류에 따라 설치가 가능하며, 이에 대하여 동일한 용량을 가지는 Off-line 저류지를 각각 설치함에 따른 하류부 홍수조절효과를 살펴보았다. 본 연구에서는 Off-line



(a) One detention



(b) Two detentions

Fig. 6 Pareto-optimal Solutions for On-line Detention

저류지는 기 설치되어 있으며 이를 바탕으로 On-line 저류지의 최적화를 모의하였다. 이는 본 연구에서 모의한 유출모형이 Off-line 저류지와 함께 연계되어 운영 시 유출모의가 적절하게 수행되는지 살펴봄과 동시에 향후 On-line 저류지 및 Off-line 저류지가 혼용되어 운영될 경우에도 최적화가 가능할지 살펴보기 위하여 모의하여 보았다.

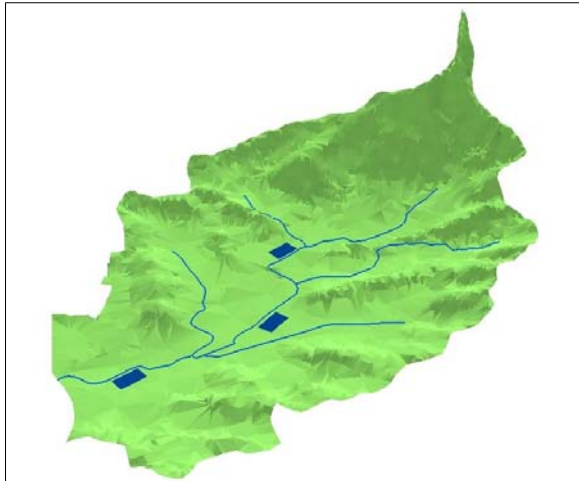
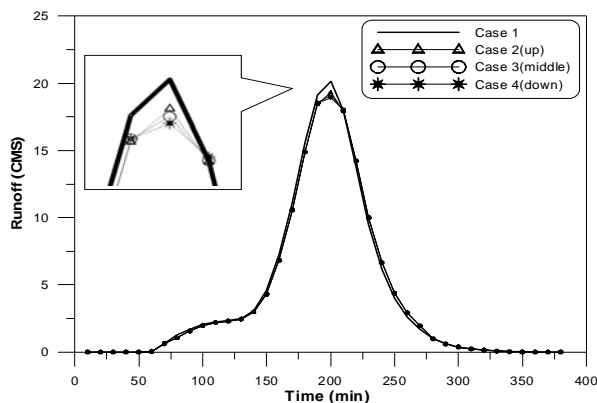


Fig. 7. Allowable Positions for Off-line Detention

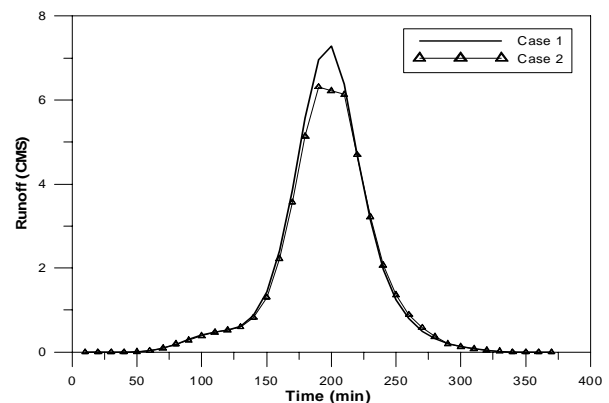
Table 3. Specification of Off-line Detentions

Location	Storage(m ³)	Weir Width(m)	Weir EL.(m)
No detention (Case 1)	-	-	-
Upstream (Case 2)	600	10	1.10
Middle (Case 3)	600	10	1.33
Downstream (Case 4)	600	10	1.98

상기 Fig. 8a에서 보는바와 같이 본류에 Off-line 저류지를 상류와 중류 그리고 하류부에 설치한 결과 하류부에 Off-line 저류지를 설치하는 것이 저감효과가 더 좋은 것을 볼 수 있다. 이러한 상황을 바탕으로 상류와 중류 그리고 하류에 Off-line 저류지가 설치되어 있는 경우 On-line 저류지를 설치하는 것으로 가정하고 최적해를 산정해 보았으며 그 결과는 상기 Fig. 9와 같다. 이를 통해 본 연구에서 개발된 유출모형이 Off-line 저류지가 설치된 경우에도 함께 On-line 저류지의 최적해를 산정할 수 있는 것을 확인 하였다.



(a) Outflow hydrograph at downstream



(b) Side outflow hydrograph at Off-line detention

Fig. 8. Outflow Hydrograph

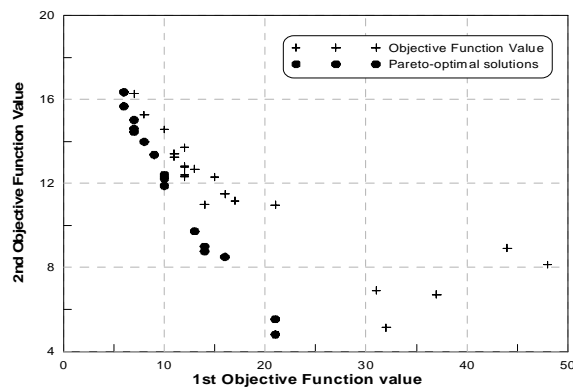


Fig. 9. Pareto-optimal Solutions for On-line & Off-line Detentions

4. 결 론

본 연구에서는 우수유출 저류지의 위치와 규모의 최적해를 찾기 위해 다목적 유전자알고리즘을 이용한 최적화 모형을 개발하였다. 그리고 목적함수와 제약조건 그리고 유전자 알고리즘의 연산자의 설정을 통해 실제 대상유역에 대하여 적용하여 보았다.

실제 안양 관양유역은 1 km² 미만의 소규모 유역으로 하류부 하천에 대한 홍수량을 10 % 저감하기 위해 1개 소만의 저류지로 적정한 저감효과를 가지는 최적화된 위치와 규모를 설정할 수 있었다. 그러나, 토지이용계획 상 큰 저류지를 설치하기 어려운 경우에는 2개소로 나누어 설치하여 1개소 설치시 보다 적은 저류용량의 저류지를 다수 설치하여 운영할 수 있음을 볼 수 있었다.

또한 off-line 저류지가 설치된 경우에도 결과값을 산출할 수 있음을 살펴봄으로써, 향후 각종 다른 우수유출 저감시설들, 즉 예를 들면 침투시설 등이 정량화가 가능하다면, 이에 대한 영향도 함께 반영하여 유출량 검토가 가능할 것으로 보인다.

결론적으로 유전자 알고리즘을 통한 저류지 설치 위치 및 규모에 대한 문제에 대하여 유역 설계담당자가 목적하는 조건에 따라 적정한 값을 도출할 수 있음을 볼 수 있었다. 향후 해당 유역의 설치시 유역의 토지이용조건에 따라 적합한 제약조건, 즉 저류용량 최대크기 또는 설치가능지역 등을 통해 하류부의 홍수저감계획에 알맞은 저류지 설치를 유도할 수 있을 것으로 보인다. 본 모형에서 사용되는 유출모형의 한계로 인하여 중소유역에 대해서만 모의가 가능하지만, 향후 중소유역뿐만 아니라 대유역에 대해서도 유역유출모형의 개선을 통해 적용가능하도록 연구할 필요가 있으며, 이를 통해 유역종합치수계획 수립시 각종 저류지 및 천변저류지에 대한 설계시에도 많은 도움이 될 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2003년도 건설기술혁신사업(03산학연C01-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구단의 연구성과물로서 관계당국에 감사드립니다.

참 고 문 헌

김태순, 허준행 (2005). "NSGA-II를 이용한 한강수계 저수지군 운영방안에 관한 연구." **대한토목학회 정기학술대회 논문집**, 대한토목학회, pp. 2369-2372.

박민규, 유철상, 박창열 (2007). "저류지 예비설계에 관한 비교 연구." **한국수자원학회 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 383-387.

박봉진, 차형선, 김주환 (1997). "유전자 알고리즘을 이용한 저류함수모형의 매개변수 추정에 관한 연구." **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제30권, 제4호, pp. 347-355.

이길성, 정은성 (2004). "유전자 알고리즘을 이용한 댐군의 최적운영방안." **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제24권, 제1B호, pp. 9-17.

이정식, 이재준, 김규호, 오석훈 (1995). "도시유역에서 지체저류시설의 수문학적 설계에 관한 연구." **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제28권, 제2호, pp. 159-173.

이재준, 광창재, 김호년, 이상원 (2007). "도시유역 저류지의 위치관련 변수의 수문학적 해석." **대한토목학회 정기학술대회 논문집**, 대한토목학회, pp. 1405-1408.

El-Said Mohamed, Said Ahmed (2006). *Real time optimal operation of Reservoir-river system under flooding conditions*, Arizona State University.

Esat, V., and Hall, M. J. (1994). "Water resources system optimization using genetic algorithms." *Proceedings of the 1st International Conference on Hydroinformatics*, A. Verwey, Delft, pp 225-232.

Fahmy, H. S., King, J. P., Wentzel, M. W., and Seton, J. A. (1994). "Economic optimization of river management using genetic algorithms." Paper No. 943034, ASAE 1994 *Int. Summer Meeting*, Am Soc. of Agricultural Engineers. St. Joseph, Mich.

Mays, L.W., Unver, O.L. and Lansey, K.E. (1986). *Report of real time flood management model for lower colorado river-highland lake systems*, Bureau of Engineering Research Center for Research in Water Resources and Department of Civil Engineering, University of Texas at Austin.

Unver, O.L. and Mays, L.W. (1990). "Model for real-time Optimal Flood Control Operation of a Reservoir System." *Water Resources Management*, Vol. 4. Kluwer. Dordrecht, The Netherlands. pp. 21-46.

Wardlaw, R and Sharif, M(1999). "Evaluation of genetic algorithms for optimal reservoir system operation." *Journal of Water Resources Planning & Management*, ASCE, Vol. 125, No. 1, pp. 25-33.

Windsor, J. S.(1973). "Optimization Model for the Operation of Flood Control Systems." *Water Resources Research*, Vol. 9, pp. 1219-1226.

(논문번호:08-73/접수:2008.06.11/심사완료:2008.11.17)