

# 동역학적 홍수추적을 통한 대규모 유역에서의 천변저류지 최적조합의 결정

## Determination of Optimal Washland combination by Dynamic wave flood routing

박정훈\*, 김민석\*\*, 오병화\*\*\*, 김종훈\*\*\*\*

Cheong Hoon Park, Min Seok Kim, Byung Hwa Oh, Joong Hoon Kim

---

### 요 지

본 연구에서는 상대적으로 소규모 홍수저감시설인 천변저류지의 설치를 통하여 대규모 유역 하도 전체에서의 홍수위 저감효과를 평가하고 그 효율을 극대화 하는 방안을 제시하였다. 본 연구에 적용한 다목적 최적화 기법(Multi-objective Optimization)으로는 NSGA-II(Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II) 알고리즘을 적용하였으며 천변저류지 설치에 따른 수위 영향구간 분석 및 유역 전체 하도구간에서 전반적으로 발생하는 수리, 수문학적인 변화 평가 및 천변저류지 최적 조합을 선정하기 위하여 천변저류지의 용량을 최소화하면서 하도 전 구간에서의 수위 저감량을 최대화할 수 있도록 최적화 알고리즘의 목적함수를 설정하였다. 천변저류지 설치에 따른 홍수량의 변화를 해석하기 위하여 안성천 유역에 대하여 동역학적 홍수추적을 수행하였으며 저류형 구조물의 설치에 따른 홍수량 저감효과 및 그에 따른 홍수위의 변화를 동시에 해석하기 위하여 UNET 모형을 기반으로 한 HEC-RAS 부정류 해석을 실시하였다. 천변저류지 조합별로 다양한 경우의 수가 존재하므로 HEC-RAS 구동 모듈인 HECRAS Controller를 Visual Basic으로 코딩된 최적화 알고리즘 프로그램과 연동함으로써 각 경우의 수별로 동역학적 홍수추적 및 부정류 해석을 실시함으로써 천변저류지 조합별 각 측정에서의 홍수량 및 홍수위를 산정하여 저류지 용량을 최소화하면서 각 하도 측정별 수위저감량을 최대화 하는 최적해 집단(Pareto Front)을 산정하여 제시하였다.

**핵심용어** : 천변저류지, Multi-objective Optimization, NSGA-II, HECRAS Controller

---

### 1. 서론

국내에서는 이미 다목적 댐 15개소, 수력발전용 댐 957개소 등 많은 댐이 이미 시공되어있으며 각종 보상문제 및 환경적인 이유로 인하여 더 이상 대형구조물의 설치를 통한 홍수조절이 힘든 상태이다. 따라서 홍수저감을 위한 소규모 구조물, 천변저류지, 홍수터 등의 적절한 조합을 통한 홍수저감효과의 극대화 방안이 필요하며 이를 간략히 평가할 수 있는 모델이 필요하다. 이와 관련하여 한건연 등(2005)은 가상하도(하도연장 50 km, 사다리꼴 균일 하도)에 대하여 천변저류지의 크기 및 수문개방 조건을 달리하면서 천변저류지 설치에 따른 홍수저감효과를 분석한 바 있다. 한편 최은혁 등(2005)은 소규모 유역(유역면적 8.64 km<sup>2</sup>)의 단일 저류지에 대하여 HEC-RAS 부정류

---

\* 정회원 · 고려대학교 건축사회환경공학부 박사과정 · E-mail : [pchydro@korea.ac.kr](mailto:pchydro@korea.ac.kr)

\*\* 정회원 · (주)하존이앤씨 수자원부 대리 · E-mail : [stynerz@naver.com](mailto:stynerz@naver.com)

\*\*\* 정회원 · 고려대학교 건축사회환경공학부 석사과정 · E-mail : [joayoi@hanmail.net](mailto:joayoi@hanmail.net)

\*\*\*\* 정회원 · 교신저자 · 고려대학교 건축사회환경공학부 교수 · E-mail : [jaykim@korea.ac.kr](mailto:jaykim@korea.ac.kr)

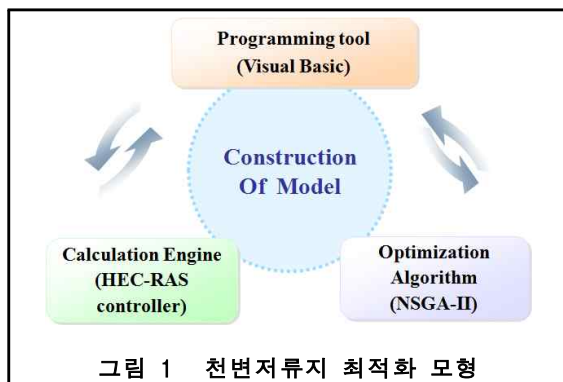
해석 모형을 이용, 저류지 출구부 조건을 달리하며 저류지의 홍수저감효과에 대해 분석을 수행하였으며, 안태진 등(2008)은 수문학적인 접근방법을 이용하여 대규모 유역에서 천변저류지 최적 위치 및 용량을 결정하였다. 그러나 이러한 연구 등은 특정 목표지점을 선정하여 해당지점에서의 홍수량만을 저감하고자 하였으며 유역 전반에 걸친 하도내 홍수위 변화를 고려하지 못하여 천변저류지 설치의 근본적인 목적인 하도에서의 홍수위 저감량을 확인하기 위해서는 별도로 홍수위 계산을 수행해야만 했다. 본 연구에서는 다목적 최적화 알고리즘(Multi-objective Optimization Algorithm)의 하나인 NSGA-II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II; Deb et al, 2002) 알고리즘을 적용하여 천변저류지의 용량을 최소로 하면서 유역 전체 하도내 홍수위를 최소로 하도록 목적함수를 설정함으로써 유역내 전반적인 홍수위험도를 최소화하는 천변저류지 최적조합 결정 방법을 제안하였다.

## 2. 천변저류지 최적화 모형

천변저류지 설치에 따른 홍수위 변화 구간 분석 및 홍수량 저감 효과를 동시에 고려함과 동시에 홍수방어 대책의 일환으로 각종 구조물적 대책의 수립에 따른 홍수조절 효과를 일관성 있게 분석하기 위해서는 수리학적 홍수추적이 필요하며 홍수위 계산 또한 부정류 해석의 수행이 필요하게 된다. 따라서 한건연 등(2005)은 천변저류지 홍수저감 효과 분석을 위하여 하도 단면에서는 DWOPER 모형을 사용하여 동역학적 홍수추적을 수행하고 저류지 연결부에서는 월류모형을 적용하였으며, 정재학 등(2008)은 하도 추적에는 MacCormack 기법을 이용한 하도 추적, 저류지에서는 수정 Puls법을 사용해서 홍수량 저감량을 산정하였다.

### 2.1 모형의 구성

본 연구에서는 HEC-RAS에 포함된 U-NET 1차원 부정류 해석 모형을 이용하여 하도에서는 동역학 홍수추적을 수행하였으며 천변저류지 설치에 따른 홍수저감효과 분석을 위하여 저류지는 HEC-RAS에 포함된 Storage-Area 기능, 하도와 저류지 연결부는 Lateral Structure 기능을 이용하였다. 한편 최적화 알고리즘으로는 NSGA-II 알고리즘을 적용하여 저류지 용량 최소화 및 하도 구간 수위를 최소화하도록 목적함수를 설정하였다. 그리고 저류지 조합별로 즉 최적화 알고리즘의 수행에 따른 유전자 조합별로 HEC-RAS를 구동하기위한 하도 단면 및 저류지, weir등의 자료를 포함하고 있는 geometry file(\*.g01)을 작성하고, 각 소유역별 홍수량 자료를 HEC-HMS의 DSS data와 링크하여 부정류해석을 위한 경계조건 파일인 unsteady file(\*.u01)을 작성하도록 하였다. 다음 단계로는 각 경우의 수별로 부정류 해석 및 동역학적 홍수추적을 수행하기 위하여 HEC-RAS 구동 엔진인 HECRASController를 Visual Basic에서 참조(Referencing)하여 그림 1과 같이 천변저류지 최적화 모형을 구성하였다.



### 2.2 최적화 알고리즘

본 연구에서는 천변저류지의 최적위치 선정을 위하여 두개의 목적함수와 하나의 제약조건을 가지는 모형을 구성하였다. 이 모형의 목적은 천변저류지의 용량을 최대한 줄이면서, 하도 전반에 걸쳐 천변 저류지 설치에 따른 수위 저감량을 최대화 하는 것이다. 따라서 목적함수 및 제약조건을 수식으로 나타내면 다음 수식 1 및 수식 2와 같다.

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^n V_i, \quad \text{Minimize } \sum_{j=1}^m H_j \quad (1)$$

$$\text{subject to } H_j \leq L.E._j \quad (2)$$

여기서,  $V_i$  는  $i$ 번째 설치된 천변저류지의 용량을 의미하며, 두 번째 목적함수의  $H_j$ 는  $j$ 번째 측정에서의 침투 홍수위,  $L.E._j$ 는  $j$ 번째 측정에서의 제방고를 의미한다. 즉 계획홍수위에서 침투홍수위는 제방고를 초과하지 않도록 제약조건을 설정하였다.

### 3. 모형의 적용

천변저류지 최적조합에 따른 홍수량 및 홍수위 저감량을 최대화하기 위하여 안성천 유역에 본 모형을 적용하였다. 안성천 유역은 대한민국의 중부지방에 위치하고 있으며 유역면적은 1,648 km<sup>2</sup>으로 대규모 유역에 속하며 총 유로연장은 605 km이다. 본 모형에 적용한 천변저류지 후보지 리스트 및 저류지 면적, 초기조건 등을 표시하면 표 1과 같으며, 표 2와 같이 안성천 본류를 포함한 9개 하천의 하천 단면자료를 입력하여 HEC-RAS geometry file을 구축하였다.

표 1. 천변저류지 및 저류면적

No.	Reach	저류지 이름	Storage Area(m <sup>2</sup> )	Area Min. E.L. (EL.m)	IC (EL.m)
1	HwG	madu	2,200	6.7	6.7
2	JiW3	sinri	1,300	13.5	13.5
3	JiW2	hwehwa	1,470	8.8	9
4	JiW1	mungok	1,560	4.5	4.5
5	JiW1	eoyeon	1,050	4.7	4.7
6	JiW1	baekbong	560	4.6	4.6
7	JiW1	dongcheong	1,020	4.6	4.6
8	AnS5	SGy-Pond	675	14.3	14.3
9	AnS5	GuC-Pond	1,050	4.7	12.7
10	AnS5	YaR-Pond	774	9.5	9.5
11	AnS4	JuB-Pond	2,060	8.5	8.5
12	AnS4	SiG2-Pond	1,166	7.6	7.6
13	AnS4	SiG1-Pond	466	7.2	7.2
14	AnS3_2	PyG-Pond	207	5.5	5.5

표 2. 안성천 유역 특성

No.	River	유역면적	유로연장(km)	유역평균폭	등급
1	안성천	1,658	59.51	27.85	국가
2	청룡천	59	15.45	3.83	지방
3	둔포천	87	13.43	6.46	지방
4	한천	157	33.90	4.64	지방
5	황구지천	259	32.50	7.98	국가
6	입장천	79	16.00	4.93	지방
7	진위천	735	50.00	14.70	국가
8	오산천	150	29.50	5.09	국가
9	성환천	85	16.00	5.28	지방

최적화 수행을 위하여 저류지의 존재 유무에 따라서 bit(0 또는 1)를 설정하고 초기부모개체(initial gene set)로 200 set을 설정하였으며 selection method는 Tournament ranking method, tournament size는 initial gene set의 10%로 설정하였다. 한편 교배는 1점 교배방법을 사용하였으며 돌연변이율(mutation rate)은 2%를 적용하였다. 최적화 수행 결과 그림 2와 같이 비지배해(Pareto optimal solution)를 주는 것으로 나타났으며 계산 반복횟수는 3,000회, 계산 시간은 약 11시간 30분 정도 소요되었다(CPU: Intel Core2 Duo E8500 3.16MHz). HEC-RAS 부정류 해석시 계산시간에 큰 영향을 주는 computation interval은 30분으로 설정하였으며 본 연구에서는 저류지 설치에 따른 홍수량 저감 및 침투홍수위가 주 관심사이므로 Detailed Output interval을 최대값으로 설정함으로써 반복계산 1회에 소요되는 시간을 10초 내외로 소요되도록 하였다.

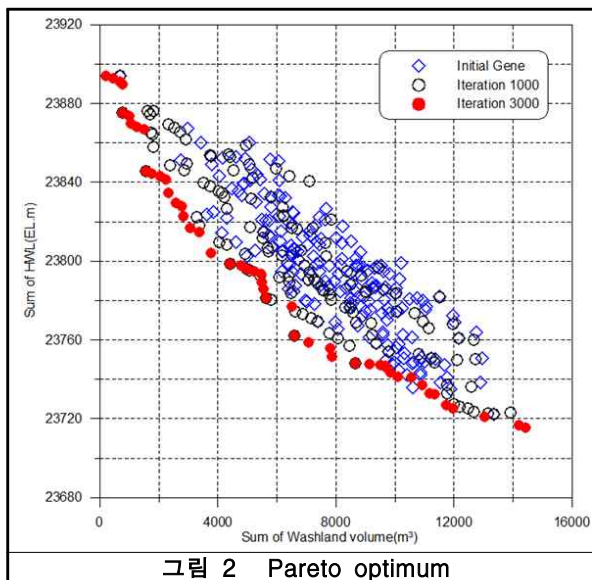


그림 2 Pareto optimum

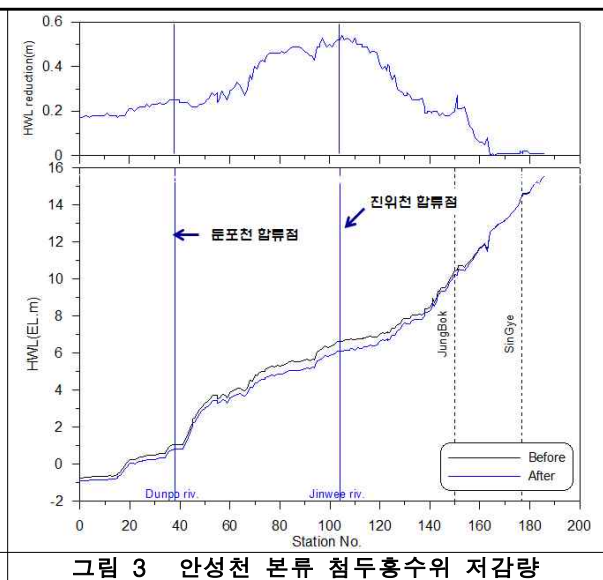


그림 3 안성천 본류 침투홍수위 저감량

다목적최적화의 경우 하나의 목적함수를 가지는 문제와 같이 특정한 해를 구하는 것이 아니라, 그림 2에서 보는 바와 같이 파레토 해집합 이라는 해들의 집합을 얻게 된다. 그림 2에서 빨간 점(Iteration 3000)으로 나타나 있는 각각이 파레토 해이며, 이들의 집합을 파레토 해집합이라고 한다. 모든 파레토 해들은, 본 연구의 의사결정모형에 사용된 2개의 목적함수와 하나의 제약조건을 적절하게 만족하고 있다고 볼 수 있으며 이와 같은 파레토 해집합에서 의사결정자가 여러 가지 조건을 고려하여 하나의 해를 선택한다.

파레토 해집합 중에서 하나를 임의로 선택하여 안성천 본류에서의 침투홍수위 저감량을 살펴보면 그림 3과 같다. 동 그림을 살펴보면 진위천 및 진위천 지류인 황구지천에 설치되는 저류지 5개소의 설치로 인하여 진위천 함류부 인근 홍수위가 가장 크게 저감됨을 확인하였으며 안성천 본류의 상류지점에 설치되는 신계 저류지의 경우 홍수위 저감효과가 크지 않은 것으로 분석 되었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 최적화 알고리즘과 HEC-RAS에 내재된 UNET모형을 Visual Basic을 이용하여 연동함으로써 대규모 유역에서 저류형 구조물에 의한 홍수량 및 홍수위 최적 저감량을 산정하였다. 기존 사업에서는 하도의 대규모 복원 및 이에 따른 통수단면의 변화가 있을 때 하도의 평균 단면형을 바탕으로 수문학적 홍수추적을 수행하였으며 이러한 수문학적 홍수추적 방법은 다양한

대안에 대하여 분석하기가 힘들고, 수위 및 유량곡선이 필요한 저류형 구조물이 필요한 경우 별도로 부정류해석을 수행하여야 하는 난점이 존재하였다.

본 논문에서는 동역학적 홍수추적을 통하여 대규모 유역내 저류형 구조물 설치에 따른 홍수조절 효과를 일관성 있게 분석하도록 하였으며 다목적 최적화의 수행을 통하여 안성천 유역에 설치되는 천변저류지의 용량을 최소화하면서 하도내 침투 홍수위를 최소화하도록 하는 최적해집단을 제시하였다. 또한 본 연구에서 제시된 HEC-RAS 구동엔진과 프로그래밍 언어와의 연동을 통하여 차후 제방 및 저수지 최적 설계, 천변저류지 연계 운영, 최적 수문(gate)운영 등의 문제에도 손쉽게 접근할 수 있을 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 국토해양부 및 한국건설교통기술평가원 건설핵심기술연구개발사업인 자연과 함께하는 하천복원 기술개발 연구(ECORIVER21)(06건설핵심B01)의 연구비 지원으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

### 참고 문헌

1. 안태진, 강인웅, 백천우(2008). 수문학적 홍수저감효과 기반의 천변저류지 최적위치 선정에 위한 의사결정모형의 개발, 한국수자원학회 논문집, 제41권 제7호, pp. 725-735.
2. 정재학, 한건연, 김동일, 김영주, 정제호(2008). 우수유출 저류지 최적 규모 및 위치 선정에 관한 연구, 2008 대한토목학회 정기학술대회, pp. 698-701.
3. 최은혁, 안선복, 지홍기, 이순탁(2005). HEC-RAS를 이용한 저류지의 부정류 해석, 2005 대한토목학회 정기학술대회, pp. 883-886.
4. 한건연, 김지성, 백진규, 박홍성(2005). 하천에서 천변저류지의 홍수저감효과 분석, 2005 대한토목학회 정기학술대회, pp. 234-237.
5. Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., Meyarivan, T. (2002). A fast and elitist multi-objective genetic algorithm: NSGA-II, IEEE Transaction on Evolutionary Computation , 6(2), pp. 181 - 197.