

# 천변저류지 최적위치 선정을 위한 의사결정모형의 개발

## Development of Decision Making Model for Optimal Location of Washland

안태진\*, 강인웅\*\*, 김복천\*\*\*, 백천우\*\*\*\*

Tae Jin Ahn, In Woong Kang, Bok Cheon Kim, Chun Woo Baek

### 요 지

최근 들어 기상이변으로 인한 홍수피해가 증가하고 있으나, 국내 실정상 댐과 같은 대규모 수고구조물의 추가적인 설치가 어려운 실정이다. 그 결과 유역종합치수계획에서는 홍수방어의 대안으로 홍수량을 유역 내에 분담할 수 있는 천변저류지의 도입을 검토하고 있다. 일반적으로 천변저류지는 규모가 다른 저류시설에 비해 작아 유역 내 설치가 가능한 다수의 후보지가 존재하며, 후보지 전체에 설치할 경우 홍수저감을 비롯한 많은 효과를 기대할 수 있다. 그러나 실제 홍수저감 효과만을 검토할 경우 저감효과가 미약한 경우도 발생할 수 있으며, 경제적 이유와 같은 다양한 제약으로 실제 설치가 가능한 위치와 그 규모에는 한계가 있을 것이다. 본 연구에서는 다수의 후보지에 대한 천변저류지의 최적 위치를 결정하기 위한 의사결정모형의 기본구조를 결정하였으며, 결정된 기본구조와 Visual Basic을 이용하여 GUI를 구현한 모형을 개발하였다. 개발된 모형을 안성천 유역에 적용하여 기존에 선별적 모의에 의한 방법과 결과를 비교해보았으며, 개발된 모형은 향후 천변저류지 계획 수립에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

### 핵심용어 : 천변저류지, 최적 위치, 의사결정모형

## 1. 서론

천변저류지는 하천 또는 수로에 접한 율류언을 이용하여 침투홍수량의 일부를 저류하는 형식으로 운영되며, 하도 흐름에 직접적인 영향을 주는 저류지로, 우수한 침투홍수량 조절효과를 제공하며, 그 효과가 즉시 나타나는 특징이 있다. 또한 다른 저류시설에 비교할 때 농경지 손실이 적고, 침수취약지역에 설치되어 해당 지역의 침수피해를 경감하고 다른 지역의 침수안전성을 제고할 수 있는 장점이 있다. 홍수를 신속히 유출시키는데 목적이 집중된 과거 하천 정비사업으로 인해 국내의 하천위주의 홍수방어능력은 한계를 보이고 있으며, 그 결과 최근 유역종합치수계획에서는 댐건설이 어려운 국내에 적합한 홍수방어의 대안으로 홍수량을 유역 내에 분담할 수 있는 천변저류지의 도입을 검토하고 있다. 천변저류지와 관련된 국내연구로는 건설교통부(2005), 한건연 등 (2005), 김형수 등(2006), 전경수 등 (2006), 안태진 등(2007a), 박창근 등(2007), 및 안태진 등(2007b)의 연구가 있으나, 현재 국내를 비롯한 국외에서 수행된 관련된 연구도 아직은 초기단계로 추가적인 많은 연구가 필요한 시점이다. 일반적으로 천변저류지는 규모가 다른 저류시설에 비해 작아 유역 내 설치가 가능한 다수의 후보지가 존재하며, 후보지 전체에 설치할 경우 홍수저감을 비롯한 많은 효과를 기대할 수 있다. 그러나 실제 홍수저감 효과만을 검토할 경우 저감효과가 미약한 경우도 발생할 수 있으며, 경제적 이유와 같은 다양한 제약으로 실제 설치가 가능한 위치와 그 규모에는 한계가 있을 것이다. 건설교통부(2005, 2007)는 설문조사법, 선별적 경우에 대한 수치모의 등을 이용하여 천변저류지의 최적 위치를 결정하였으나, 다수의 후보지에 대한 최적의 결과를 산출해내지는 못했었다. 특히, 국내에서 천변저류지 도입을 시도하는 가장 큰 이유인 홍수조절효과 분석을 위해서 기존의 연구에서는 HEC-RAS 등과 같은 수리학적 접근모형을 사용하였

\* 정회원·한경대학교 토목공학과 교수·E-mail : ahntj@hknu.ac.kr  
\*\* 정회원·한경대학교 토목공학과 석사과정·E-mail : kanginung@hanmail.net  
\*\*\* 정회원·한경대학교 토목공학과 석사과정·E-mail : 00621004@hanmail.net  
\*\*\*\* 정회원·고려대학교 공과대학 연구교수·E-mail : chunoo@korea.ac.kr

으며, 특히 유출수문곡선과 같은 시간 항을 고려하기 위해 부정류 해석을 실시하였다. 그러나 부정류 해석의 경우, 장시간의 모의시간이 필요하며, 유역의 규모가 증가할수록 모의시간은 더욱 증가하고 해에 수렴하지 않은 경우도 발생할 수 있다. 즉, 다수의 설치 가능지역을 대상으로 최적의 위치와 규모를 산정하기 위해서는 고려해야할 경우에 수가 늘어날 경우 수리학적 접근방법으로는 분석에 한계가 있을 수 있으며, 안태진 등(2007b)은 이와 같은 수리학적 접근방법의 문제점을 지적하며 수문학적 접근방법을 이용한 홍수저감 효과 산정 방안을 제시하였고, 최적의 천변저류지 위치 및 규모 선정을 위한 의사결정모형의 기본 알고리즘을 제시하였다. 본 연구에서는 안태진 등(2007)이 제시한 알고리즘을 발전시켜 의사결정모형의 기본구조를 결정하였으며, 결정된 기본구조와 Visual Basic을 이용하여 GUI를 구현한 모형을 개발하였다. 개발된 모형을 안성천 유역에 적용하여 기존에 선별적 모의에 의한 방법과 결과를 비교해보았다.

## 2. 천변저류지 최적위치선정을 위한 기본 알고리즘

안태진 등(2007b)이 최적의 천변저류지 위치 및 규모 선정을 위한 제시한 의사결정모형의 기본 알고리즘은 다음 그림 1과 같으며, 본 연구에서는 안태진 등(2007b)이 제시한 기본 알고리즘을 발전시켜 다음 그림 2와 같이 1개의 주 모듈과 4개의 부모모듈로 구성된 의사결정모형의 기본구조를 결정하였다.



그림 1. 기본 알고리즘

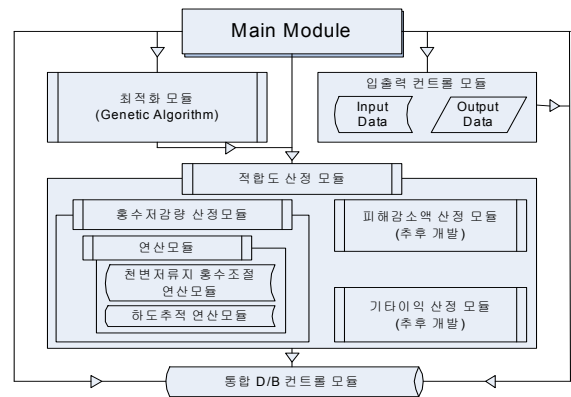


그림 2. 의사결정모형의 기본구조

안태진 등(2007b)이 제안한 의사결정모형의 기본 알고리즘에서는 최적의 천변저류지 위치 및 규모 선정을 위해, 홍수저감량, 침수피해 경감량, 농지 및 습지 활용시 가치 등을 고려하였다. 그러나 침수피해 경감량 산정을 위해서는 특정빈도의 홍수사상에 대한 홍수저감량 산정은 기본으로 침수피해도, 침수량-피해액곡선 등이 필요하나, 현재 국내에서는 이와 관련된 자료가 부족한 실정이다. 더욱이 천변저류지를 농지나 습지로 활용할 때 발생하는 가치 등은 관련된 연구가 전무한 실정이다. Finney (1988)가 사용한 “총 지불 희망 비용” 등을 이용하여 습지로서의 경제적 가치를 평가할 수는 있으나, 보다 현실적이며 타당한 가치의 정량화 방안과 관련하여서는 현재 연구가 진행 중에 있다. 따라서 본 연구에서는 실제적인 산정이 가능한 홍수저감량만을 고려하여 최적의 천변저류지 위치를 결정하기 위한 의사결정 모형을 개발하였다. 따라서 그림 1과 그림 2에서 최적위치 및 규모선정을 위해 사용되는 적합도 함수는 다음 식 (1)과 같이 수립하였다.

$$\begin{aligned} \text{Maximize } B &= \sum_{i=1}^n x_i \\ \text{subject to } &V_j \leq V_j^{\max} \text{ for } j=1, \dots, m \end{aligned} \quad (1)$$

그림 2에서와 같이 개발된 의사결정모형은 최적해를 결정하기 위한 반복과정을 최소화하기 위해 최적화 기법을 사용하였으며, 본 연구에서는 많은 공학 분야에서 사용되고 있는 유전자알고리즘을 이용하여 최적화모듈을 개발하였다. 의사결정모형을 구성하는 주모듈과 부모모듈은 사용자의 편의를 위해 Visual Basic 6.0을 이용하여 GUI를 구현하였다.

### 3. 모형의 적용

#### 3.1 대상유역

개발한 의사결정모형의 적용성을 검토하기 위해 그림 3과 같은 안성천 유역에 개발된 모형을 적용하였다. 안성천 유역의 면적은  $1,658 \text{ km}^2$ 이며 하천의 총 연장은  $605 \text{ km}$ (103개 하천)이다. 유역현황과 홍수량 산정을 위한 강우 자료는 최근 수행된 “안성천수계 유역종합치수계획(건설교통부, 2007)”의 결과를 적용하였다. “안성천수계 유역종합치수계획(건설교통부, 2007)”에서는 유역의 홍수량 산정을 위해 HEC-HMS의 모형을 적용하였으며, 그 결과 208개의 소유역과 109개 하도구간으로 구분된 모형을 구축하였다. 금회 분석에 사용된 설계빈도는 100년 빈도이며, 소유역로 산정된 임계지속시간을 기준으로 적용된 강우지속시간은 10~15시간을 적용하였다.



그림 3. 안성천 유역도

#### 3.2 천변저류지 후보지 현황

“안성천수계 유역종합치수계획(건설교통부, 2007)”에서는 홍수조절용 저류지 설치를 통한 홍수량 저감 방안을 검토하기 위하여 그림 3에 나타난 것과 같이 13개 지점에 대한 천변저류지 설치를 검토하였다. 천변저류지의 홍수저감량 산정을 위해 HEC-RAS의 부정류 해석 기능과 Weir공식을 적용된 "Storage Area" 기능을 적용하였다. 본 연구에서는 결정된 13개 후보지에 대하여 천변저류지 최적 위치선정을 수행하였고, 표 1에는 천변저류지의 제원이 나타나 있다.

표 1. 안성천 유역 천변저류지 제원

천변저류지 IID	천변저류지명	위치	면적 ( $\text{km}^2$ )	최대저류용량 ( $\text{m}^3$ )	월류고 (m)	월류웨어폭 (m)	웨어 유출계수
W1	평곡	안성천	0.21	575,000	6.50	30	1.11
W2	신가	안성천	1.64	2,784,000	7.60	75	1.11
W3	중복	안성천	2.06	3,543,000	8.50	75	1.11
W4	양령	안성천	0.77	1,362,000	10.49	100	1.11
W5	건천	안성천	0.99	1,060,000	12.70	75	1.11
W6	신계	안성천	0.67	297,000	14.30	100	1.11
W7	동청	진위천	1.02	4,151,000	5.50	50	1.11
W8	백봉	진위천	0.56	2,240,000	5.50	30	1.11
W9	어연	진위천	1.05	4,662,000	6.00	70	1.11
W10	문곡	진위천	1.56	7,909,000	7.00	200	1.11
W11	회화	진위천	1.47	3,293,000	9.00	70	1.11
W12	신리	진위천	1.30	2,015,000	13.60	70	1.11
W13	마두	황구지천	2.20	8,976,000	7.70	70	1.11

본 연구에서는 천변저류지의 홍수조절효과 산정을 위해 weir공식을 적용하였다. Weir공식을 적용하기 위해서는 수위-유량곡선이 필요하지만, 수문학적 접근방법은 천변저류지 설치 후보지에 대한 수문곡선 변화는 모의가 가능하나, 유량변화에 따른 수위변화 모의는 불가능하다. 그러나 대상유역의 각 후보지점에 대한 수위-유량 관계는 실측된 데이터가 없는 관계로, “안성천수계 유역종합치수계획(건설교통부, 2007)”에서 수행한 HEC-RAS의 부정류 해석결과를 활용하여 각 후보지점의 수위-유량 관계를 결정하였다. 그림 4는 획득된 동청저류지의 수위-유량 관계곡선을 나타내고 있다. 표 2에는 HEC-RAS의 부정류 해석 결과를 바탕으로 13개 천변저류지에 대해 획득한 수위-유량 관계곡선식과 “안성천수계 유역종합치수계획(건설교통부, 2007)”에서 산정된 저류지별 직하류부 홍수조절량과 본 연구에서 수문학적 접근방법을 이용하여 산정한 저류지별 직하류부 홍수조절량을 비교해 나타내었다.

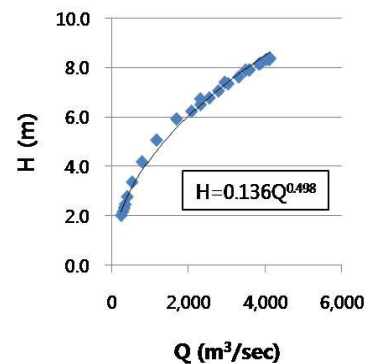


그림 4. 동청 저류지 수위-유량관계곡선

표 2. 100년빈도 홍수사상에 대한 천변저류지 직하류부 홍수조절효과 비교

천변저류지 ID	천변저류지명	최대저류용량 (m <sup>3</sup> )	홍수조절량 (m <sup>3</sup> /sec)		금회적용 수위-유량 관계곡선식
			유역종합치수계획 (건설교통부, 2007)	금회	
W1	평균	575,000	27	0	$H=0.411 \times Q^{0.379}$
W2	신가	2,784,000	113	112	$H=1.605 \times Q^{0.222}$
W3	중북	3,543,000	185	189	$H=2.518 \times Q^{0.183}$
W4	양령	1,362,000	101	78	$H=3.818 \times Q^{0.147}$
W5	건천	1,060,000	61	68	$H=6.060 \times Q^{0.109}$
W6	신계	297,000	15	8	$H=6.613 \times Q^{0.106}$
W7	동청	4,151,000	222	254	$H=0.136 \times Q^{0.498}$
W8	백봉	2,240,000	121	96	$H=0.151 \times Q^{0.487}$
W9	어연	4,662,000	205	184	$H=0.203 \times Q^{0.457}$
W10	문곡	7,909,000	258	194	$H=0.284 \times Q^{0.422}$
W11	회화	3,293,000	93	84	$H=1.439 \times Q^{0.254}$
W12	신리	2,015,000	7	16	$H=8.321 \times Q^{0.074}$
W13	마두	8,976,000	245	351	$H=0.642 \times Q^{0.377}$

표 2에 나타난 결과를 비교해 보면 산정된 홍수조절량에 약간의 차이를 보이고 있으며, 특히 평균저류지의 경우 “안성천수계 유역종합치수계획(건설교통부, 2007)”에서는 27m<sup>3</sup>/sec의 홍수조절효과가 있는 것으로 나타났으나, 금회 적용한 수문학적 해석방법에서는 단독운영시에 홍수조절효과가 전혀 없는 것으로 나타났다. 이는 수리학적 해석 방법과 수문학적 해석방법에서 적용하는 기본가정의 차이에서 발생하는 것으로 판단된다. 일반적으로 HEC-RAS의 부정류 해석의 경우 수문모형에서 산정한 유역하류의 유출수문곡선을 구간 상류의 유입수문곡선으로 입력하므로 실제 홍수량보다 다소 높은 수문량을 나타내는 경향이 있으며, 수리학적 해석방법과 수문학적 해석방법에 의한 특정 지점의 수문곡선은 차이가 발생할 수 있다. 또한 본 연구에서 적용한 천변저류지의 수위-유량관계곡선은 실측에 의한 결과가 아니므로, 실측된 결과를 이용한 수위-유량관계곡선을 적용할 경우 보다 실제적인 홍수조절효과 산정이 가능할 것으로 판단된다.

### 3.3 적용결과

안성천 유역의 13개 천변저류지 후보지에 대한 최적의 위치 선정을 위해, 토지이용현황, 과거 침수피해현황 등을 고려하여 그림 3에 나타난 것과 같이 4개의 중요포인트를 선정하였다. 표 3에는 유역에 설치하는 천변저류지의 수를 1~13개까지 고려할 때, 선정된 4개의 중요포인트에서의 홍수저감량의 합이 최대가 되는 천변저류지 위치 선정 결과가 나타나 있다.

표 3. 천변저류지 최적위치 선정 결과 (적합도 함수 식(2))

천변저류지수	천변저류지 위치	중요포인트 홍수저감량합 (m <sup>3</sup> /sec)	유역출구 홍수저감량 (m <sup>3</sup> /sec)
1	마두	628	265
2	문곡, 마두	1,429	551
3	중북, 문곡, 마두	1,808	606
4	신가, 중북, 문곡, 마두	2,062	690
5	신가, 중북, 어연, 문곡, 마두	2,217	822
6	신가, 중북, 양령, 어연, 문곡, 마두	2,367	848
7	신가, 중북, 양령, 어연, 문곡, 회화, 마두	2,473	862
8	신가, 중북, 양령, 건천, 어연, 문곡, 회화, 마두	2,574	895
9	신가, 중북, 양령, 건천, 동청, 어연, 문곡, 회화, 마두	2,662	971
10	신가, 중북, 양령, 건천, 동청, 백봉, 어연, 문곡, 회화, 마두	2,715	1,017
11	평균, 신가, 중북, 양령, 건천, 동청, 백봉, 어연, 문곡, 회화, 마두	2,751	1,024
12	평균, 신가, 중북, 양령, 건천, 동청, 백봉, 어연, 문곡, 회화, 신리, 마두	2,762	1,025
13	평균, 신가, 중북, 양령, 건천, 신계, 동청, 백봉, 어연, 문곡, 회화, 신리, 마두	2,770	1,029

표 3에 나타난 결과를 살펴보면, 안성천 유역에 천변저류지를 1개 설치할 경우 표 1에 나타난 것과 같이 저류지 직하류부 홍수조절량이  $351m^3/sec$ 로 최대인 마두 저류지에 설치하는 것이, 2개를 설치하는 경우 직하류부 홍수조절량이 최대인 마두 저류지와 세 번째로 큰 문곡 저류지에 설치하는 것이 중요포인트에서의 홍수저감량 합이 최대가 되는 조합으로 선정되었다. 또한 신리와 신계 저류지의 경우 직하류부 홍수조절량이 비교적 최소인 저류지로 최적위치 선정 시에 마지막에 선택되었다. 즉 개별 천변저류지의 홍수조절량은 최적 위치선정과 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다. 그러나 천변저류지를 3개 설치하는 경우 중곡, 문곡 및 마두 저류지에 설치하도록 선정되었다. 실제 천변저류지 직하류부 홍수조절량이 두 번째로 큰 저류지는  $254m^3/sec$ 이 조절 가능한 동청 저류지이지만, 직하류부 홍수조절량이  $189 m^3/sec$ 로 13개의 대상 후보지 중 네 번째인 중복저류지가 중요포인트들에 대한 홍수조절효과에 보다 많은 영향을 줄 수 있어, 이와 같은 결과가 나타난 것으로 판단된다. 즉 대상유역에 위치한 중요포인트에 대한 홍수조절효과는 개별 천변저류지의 홍수조절량은 물론, 중요포인트와의 위치를 고려하여 선정되는 적절한 조합에 의해 영향을 받는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결론

유역내 특정지점의 홍수저감을 위해 설치되는 일반적인 저류지와 달리, 다수를 설치하여 유역의 전반적인 홍수조절이 가능한 천변저류지를 계획할 경우, 유역 전반에 걸친 실질적인 홍수저감효과 산정이 필요하다. 특히 유역내 가능후보지가 많은 천변저류지의 경우, 효율적인 계획과 예산 활용을 위한 의사결정시스템이 필요하며, 본 연구에서 개발한 모형은 천변저류지 최적 위치선정을 위한 의사결정시스템으로 활용이 가능한 것으로 판단된다. 그러나 유역내 천변저류지 설치를 계획할 경우, 본 연구에서 최적위치 선정을 위해 사용한 홍수저감효과는 기본적으로 경제성, 습지와 농지 등으로의 활용으로 인한 가치 등과 같은 많은 사항을 고려해야 할 것이다. 그러나 홍수조절효과 이외의 사항들은 정량적 평가가 어려워 천변저류지 계획에 반영이 쉽지 않은 실정이다. 추후 관련된 연구가 많이 진행되어 본 연구에서 개발된 홍수저감효과 기반의 의사결정모형과 함께 활용된다면, 보다 효율적이고 실제적인 천변저류지 설치의 기준으로 활용될 수 있을 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 건설교통부 및 한국건설교통기술평가원 건설핵심기술연구개발사업(06건설핵심B01)의 연구비의 지원으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 건설교통부 (2005). 천변저류지 기본계획 수립에 관한 연구, 건설교통부.
2. 건설교통부 (2007). 안성천수계 유역종합치수계획, 건설교통부.
3. 김형수, 경민수, 김상단, 이진행 (2006). “천변저류지 조성 및 활용방안.” **2006 한국수자원학회 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 83-88.
4. 박창근, 박재현, 이종진 (2007). “천변저류지를 활용한 화포천 유역에서의 홍수조절능력에 관한 연구.” **2007 한국수자원학회 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 331-335.
5. 안태진, 김경섭, 강인웅, 김복천 (2007a). “천변저류지 조성계획에서 수문 및 수리적운영에 관한 고찰.” **2007 한국수자원학회 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 956-960.
6. 안태진, 강인웅, 김복천, 백천우 (2007b). “천변저류지 최적 규모 및 위치 선정을 위한 의사결정모형의 기본알고리즘 제안.” **2007 대한토목학회 학술발표회 논문집**, 대한토목학회, pp. 3371-3375.
7. 전경수, 김원, 윤병만 (2006). “천변저류지 홍수조절 효과의 불확실성 분석.” **2006 대한토목학회 학술발표회 논문집**, 대한토목학회, pp. 267-270.
8. 한건연, 김지성, 백진규, 박홍성 (2005). “하천에서 천변저류지의 홍수저감효과 분석.” **2005 대한토목학회 학술발표회 논문집**, 대한토목학회, pp. 233-236.
9. Finney, C. (1988). *The economic value of wildfowling on the hundred foot washes*. Report prepared for Anglian Water.