

## 경제성 분석에 의한 강변저류지 최적위치 선정에 대한 연구

### Study on Optimal Location of Washland Based on Economic Analysis

안 태 진\* / 변 천 일\*\* / 노 희 성\*\*\* / 백 천 우\*\*\*\*

Ahn, Tae Jin / Byeon, Chen Il / Roh, Hee Sung / Baek, Chun Woo

#### Abstract

In this study, methodology to determine optimal location of washlands based on economic analysis is presented. Install costs of washlands are calculated by construction cost and land compensatory cost and benefits of washlands are calculated from flood damage reduction and benefit from using washland as wetland. Indirect approach for runoff-flood damage relationship is suggested and benefit-cost analysis is used for economic analysis. Economic analysis is added to existing models that used only flood reduction effect to determine optimal location of washlands. Suggested methodology is applied to 13 potential washlands in Anseong River basin to examine its applicability. Applied result of new methodology is compared with that of existing model. As the application results, it is possible to determine the optimal combinations of washlands can provide more economic benefit compared to existing studies. It is determined that considering economic analysis can be better option for decision making problem searching for optimal location of washlands.

**Keywords** : washland, optimal location, economic analysis

#### 요 지

본 연구에서는 경제성분석에 의한 강변저류지의 최적위치 선정기법을 제안하였다. 강변저류지 설치에 소요되는 비용을 크게 건설비용과 토지매입비용으로 나누어 산정하였으며, 강변저류지 설치로 인해 발생하는 이익을 홍수피해저감액과 습지설치로 인한 연간이득으로 구분하여 산정하였다. 홍수량-홍수피해액 관계를 간접적으로 도출하는 방안을 제시하였으며, 강변저류지의 습지활용 시에 발생하는 이익은 인공습지의 가치평가기법을 도입하여 평가하였다. 경제성평가 기법으로는 편익-비용분석을 적용하였으며, 안성천 유역의 13개 후보강변저류지에 대한 경제성평가를 수행하였다. 또한 강변저류지의 최적 위치와 규모를 결정하기 위해 홍수저감효과를 이용한 기존의 모형을 보완하여, 경제성평가기법을 이용한 의사결정기법을 제안하였다. 제안된 의사결정기법을 안성천유역의 13개 후보강변저류지를 대상으로 적용하였으며, 기존에 홍수저감효과만을 이용한 모형의 결과와 비교분석하였다. 그 결과 홍수저감량만을 고려한 기존의 결과와 비교할 때 보다 높은 경제성을 제공할 수 있는 최적조합선정이 가능하였고, 경제성을 고려하는 것이 보다 실질적인 의사결정의 기준으로 사용될 수 있다는 것으로 나타났다.

**핵심용어** : 강변저류지, 최적위치, 경제성분석

\* 교신저자, 한경대학교 공과대학 토목공학과 교수

Professor, Dept. of Civil Eng., Hankyong National Univ., Ansong 456-749, Korea (e-mail: ahntj@hknu.ac.kr)

\*\* (주)한국방재안전기술원 연구원

Researcher, Disaster Prevention Safety Institutes., Sunghnam 463-741, Korea (e-mail: qucsjgur1@naver.com)

\*\*\* 한경대학교 공과대학 토목공학과 석사과정

Master Student, Dept. of Civil Eng., Hankyong National Univ., Ansong 456-749, Korea (e-mail: heesung@hanmail.net)

\*\*\*\* Corresponding Author, Research Associate, School of Envir. Systems Eng. & Centre for Ecohydrology, Univ. of Western Australia, Crawley WA6009, Australia (e-mail: baek@sese.uwa.edu.au)

## 1. 서론

1980년 이후 급격한 산업화 및 도시화의 영향과 최근 기상이변 등으로 인해 홍수피해가 증가하고 있으나, 댐과 같은 대규모 수공구조물의 신규 접치는 다양한 이유로 인해 점점 더 어려워지고 있는 실정이다. 따라서 최근에 수립된 유역종합치수계획, '4대강 살리기 마스터플랜' 등에서는 홍수피해 저감의 대안으로 홍수저감 기능은 물론이고, 평수기시 다용도로 활용이 가능한 강변저류지 설치에 대하여 검토하고 있다. 강변저류지는 "an area of floodplain that has been embanked to provide some degree of protection from flooding"라고 정의할 수 있으며 (David and Ronald, 1992), 강변의 저지대의 농경지 및 폐천부지 등을 이용하여 제방의 일부구간에 월류제(취수부)를 설치하고 하도내 수위가 월류제 침단의 표고 보다 높아지면 홍수량을 일시적으로 저류하였다가 홍수가 종료되면 배제시키는 구조물으로써 궁극적으로 침투홍수량을 낮추고 하류부의 홍수피해를 경감하는 목적을 갖는 시설이다. 특히 기존 하도내에 수공구조물을 설치하거나 하도개선 등으로 홍수조절효과를 얻는 방식이 아닌, 하도주변의 하천변 공간을 이용한 홍수량 분담을 통해 하천의 부담을 줄이고 하천 범람으로 인한 홍수피해의 잠재성 경감을 위한 시설로 침투홍수조절 효과가 확실하고 그 효과가 즉시 나타나는 특징이 있다. 또한 강변저류지는 일정량 이상의 수위에만 홍수를 저감하는 특징이 있으므로 6월에서 9월까지 강수가 집중되고 있는 우리나라의 경우 평수기시 습지, 농경지, 생태시설, 스포츠시설 등으로 활용할 수 있어서 비홍수기시 활용적 측면에서 잠재적 가치가 큰 자연친화적인 시설이다. 하지만 저류수심이 높지 않아 많은 강변부지를 필요로 하기 때문에 하천변의 국공유지 비율이 높지 않은 우리나라의 특성상 2000년대 이전에는 강변저류지에 대한 관심이 높지 않았지만, 최근 자연친화적인 수공구조물에 대한 관심이 증가하면서, 2000년대 중반부터 '천변저류지', '생태천변저류지' 등의 명칭으로 관련된 연구가 수행되기 시작하였으며, 최근 관련분야 전문가들의 협의를 통해 '강변저류지'로 명칭을 통일하고 본격적인 연구가 진행 중에 있다.

강변저류지와 관련하여 수행된 국외 연구로는 Hammer (1989), Kadlec and Knight (1986), Kusler and Kentula (1996), Arnold et al. (2001) 및 English Nature (2004) 등이 있으며, 이들 연구에서는 강변저류지의 복원 시 고려할 사항, 활용방안 및 생태학적 의미 등을 분석하였다. Forster et al. (2005)는 농업적인 손실, 도로의 수리 및 재건축 비용, 토지이용에 대한 경제적 가치를 고려한 수위별 피해액 등에 대한 비용-편익 분석을 이용한 강변저류지 경제성 평가를 수행하였다. 관련된 대표적인 국내 연

구로는 홍수조절 및 습지의 관점에서 강변저류지를 정의하고, HEC-RAS의 부정류 모의 기능을 이용하여 강변저류지의 홍수조절 효과를 분석한 건설교통부 (2005)의 연구를 비롯하여, FLUMEN 모형을 이용하여 홍수범람해석을 모의한 강수만 등 (2007)의 연구, 강변저류지가 갖는 홍수조절기능, 수질개선기능 및 생태적 기능의 경제적 가치를 산정한 박재원 등 (2008)의 연구 및 강변저류지의 최적위치를 결정하기 위한 안태진 등 (2008), 백천우 등 (2009) 및 백천우와 안태진 (2009)의 연구가 있다.

다른 수공구조물에 비해 규모가 작은 강변저류지의 경우 대상 유역 내에 설치가 가능한 많은 후보지가 있으며, 설치로 인한 최적의 효과를 얻기 위해서는 이들 후보지에 대한 효율적인 분석이 이루어져야 한다. 즉 후보지를 적절히 조합하여 운영할 경우 홍수저감을 비롯한 많은 효과를 기대할 수 있을 것이나 경제성, 실질적인 홍수조절효과 등과 같은 다양한 이유로 인해 실제 설치가 가능한 위치와 그 규모에는 제약이 발생한다. 따라서 주어진 예산 안에서 최대의 효과를 나타내는 최적의 위치와 규모의 결정은 강변저류지 설치계획을 위해 수행되어야 할 것이다. 유역내 강변저류지 설치를 계획할 경우, 홍수저감효과, 경제성, 습지와 농지 등으로 활용될 경우 발생하는 가치 등 고려할 사항이 많이 발생한다. 하지만, 강변저류지의 다양한 기능과 가치는 설치에 따른 다양한 이익을 발생시킬 수 있으며 각기 다른 형태로 표현되는 이들 이익들은 하나의 정량화된 수치로 표현하기에는 어려움이 있다 (안태진 등, 2008).

현재 국내에서 강변저류지 설치를 고려하는 가장 큰 이유로는 홍수조절효과가 있으며, 홍수조절효과의 최대화가 강변저류지 계획에 있어서 가장 중요한 기준으로 사용될 수 있다. 하지만 실제 홍수저감에 따른 효과는 제내지 토지이용을 비롯한 다양한 지역특성 등에 따라 변할 것이며, 홍수저감효과 이외에도 강변저류지는 습지와 농지 등으로의 활용이 가능하고 이들 모든 인자를 고려하여 하나의 정량화된 수치로 표현할 수 있는 대표적인 다른 기준으로는 경제성이 있다. 물론 홍수저감효과와 경제성은 상호간에 매우 밀접한 관계가 있지만, 홍수저감으로 인한 편익을 산정하여 경제성 분석에 활용하기 위해서는 홍수피해지도 등을 이용한 홍수량-홍수피해액 관계산정이 필수적이나, 자료부족과 같은 이유로 인해 실질적인 관계도출이 어려운 실정이다. 이와 같은 이유로 인해, 기존에 국내에서 수행된 강변저류지와 관련된 연구는 홍수조절효과의 정량화방안과 이를 이용한 최적위치 선정방안에 집중되어 왔다. 하지만 강변저류지 설치계획에 있어 단순히 홍수저감효과만을 고려하기에는 규모가 작은 강변저류지의 홍수저감효과가 소요되는 예산에 비해 충분하지 못할

수도 있으며, 반면에 홍수저감효과로 인한 이익에 비해 습지 및 농지활용으로 인한 이익이 상대적으로 더 크게 산정될 수도 있다. 따라서 강변저류지의 실질적인 경제성 평가를 위한 기준이 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 강변저류지 설치계획 수립을 위한 기준으로 사용할 수 있는 강변저류지의 경제성평가 방안에 대해 제시하였다. 강변저류지 설치에 소요되는 비용을 크게 건설비용과 토지매입비용으로 나누어 산정하였으며, 강변저류지 설치로 인해 발생하는 이익을 홍수피해 저감액과 습지설치로 인한 연간이득으로 구분하여 산정하였다. 실제 자료부족과 같은 이유로 인해 실질적인 관계도출이 어려운 홍수량-홍수피해액 관계를 간접적으로 도출하는 방안을 제시하였으며, 강변저류지의 습지활용시에 발생하는 이익은 인공습지의 가치평가기법을 도입하여 평가하였다. 산정된 비용, 편익자료를 이용한 경제성평가 기법으로는 편익-비용분석을 적용하였다. 제안된 방안을 이용하여 안성천 유역의 13개 후보강변저류지에 대한 경제성평가를 수행하였다. 또한 강변저류지의 최적 위치와 규모를 결정하기 위해 홍수저감효과를 이용한 안태진 등 (2008), 백천우 등 (2009) 및 백천우와 안태진 (2009)의 모형을 보완하여, 경제성평가기법을 이용한 의사결정기법을 제안하였다. 제안된 의사결정기법을 안성천유역의 13개 후보강변저류지를 대상으로 적용하였으며, 기존에 홍수저감효과만을 이용한 모형의 결과와 비교분석하였다.

## 2. 강변저류지의 경제성분석 및 최적위치 선정

### 2.1 강변저류지 홍수저감량 산정

전술한 바와 같이 강변저류지는 규모가 비교적 작은 수공구조물로, 저류지를 단독으로 설치할 경우 홍수저감 효과가 미비할 수 있다. 따라서 목표하는 홍수저감량을 얻기 위해 단독이 아닌 저류지군을 설치할 필요가 발생하며, 이 때 각각 저류지의 직하류부에서 발생하는 홍수저감효과가 아닌, 전체 저류지군을 네트워크로 간주하고 각각의 저류지군이 조합에 의해 발생하는 홍수저감효과를 고려하는 접근방식이 필요로 한다. 이는 특정 위치에 존재하는 저류지가 직하류부의 첨두홍수를 낮추고 첨두홍수 도달시간을 지체시킬 수 있다하더라도, 이 결과는 대상저류지의 하류부에 위치한 다른 지점의 첨두홍수를 증가시킬 수도 있기 때문이다. (Kamedulski and McCuen, 1979; Ormsbee et al., 1987; Travis and Mays, 2008; 안태진 등, 2008; 백천우와 안태진, 2009). 강변저류지의 홍수저감효과를 산정하는 방법은 크게 수리학적 접근방법과 수문학적 접근방법으로 구분할 수 있으며, 대상유역에 다수의

후보저류지가 존재할 경우, 최적의 위치를 결정하기 위해 고려해야 할 경우의 수가 증가하고 수리학적 접근방법을 적용할 경우 분석에 한계가 있을 수 있다(안태진 등, 2008). 이와 같은 이유로 Yeh and Labadie (1997), 안태진 등 (2008), 백천우와 안태진 (2009) 등은 수문학적 방법에 의해 저류지, 강변저류지와 같은 수공구조물군의 홍수저감효과를 산정하였으며, 본 연구에서도 많은 경우의 수가 존재하는 강변저류지 군의 홍수저감효과를 산정하기 위해 안태진 등 (2008) 및 백천우와 안태진 (2009) 등의 방법을 적용하였다. 안태진 등 (2008) 및 백천우와 안태진 (2009) 등은 범용소프트웨어인 HEC-HMS를 이용해 각 소유역별 유출수문곡선만을 산정하고, 강변저류지 설치 조합에 따라 결과가 변하는 하도추적, 저수지 추적, 유역합류 및 분기 등의 과정은 HEC-HMS에서 사용된 Muskingum method와 Muskingum-Cunge method 등의 기법을 별개의 모듈로 프로그램하여 홍수저감효과를 산정하는 방법을 적용하였다. 이 경우 천변저류지의 위치에 따라 발생하는 홍수저감효과 및 하도추적, 유역합류 등의 과정에만 계산시간이 사용되어 다양한 경우에 대한 분석시간을 감소시키는 장점이 있다(안태진 등, 2008). Fig. 1은 본 연구에서 강변저류지의 홍수저감효과를 산정하기 위해 적용한 수문학적 접근방법의 흐름도를 나타내고 있다.

강변저류지는 설치 형태에 따라 유역의 모든 유출량이 강변저류지로 유입된 후 저류효과에 의해 첨두홍수를 감소시킨 후 하천으로 방류되는 On-Line과 유역의 모든 유출량 중 일정 수위를 초과하는 유량만을 강변저류지로 유

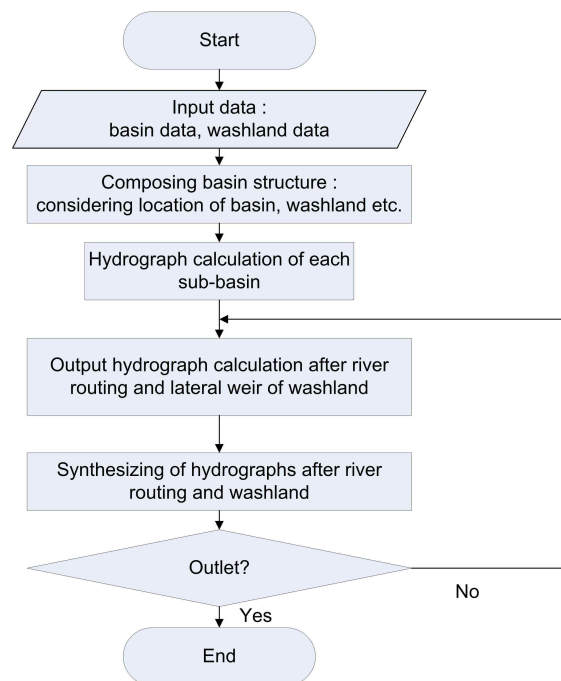


Fig. 1. Flowchart for Runoff Calculation

입시켜 본류의 침투유량을 감소시킨 후 방류하는 Off-Line 형식으로 구분할 수 있다. On-Line 형식의 강변저류지는 저류효과에 의해 침투홍수를 감소시키고 침투홍수도달시간을 지체시키며, 설계빈도에 상관없이 저류효과가 발생하지만, 저류효과에 의해 홍수조절효과를 얻기 위해서는 목표하는 홍수저감량에 따라 저류지의 규모가 크게 선정될 수 있다. 더욱이 실제 강변저류지는 대부분 하천변 공간을 이용하기 때문에 대규모로 설치하는 것이 사실상 어렵고, 소규모 강변저류지는 하천의 규모가 크면 상대적으로 거의 효과를 거둘 수 없는 한계가 있어, 대부분 하천변에 대규모 공간을 확보하는 것이 쉽지 않은 국내의 경우 Off-Line 형식의 강변저류지가 주로 계획되고 있는 실정이다(백천우 등, 2010). 또한 안태진 등(2008) 및 백천우와 안태진(2009) 등의 연구에서는 Off-line형식의 강변저류지가 보다 국내 현실에 적합하다고 하였으며, 다음 Eq. (1)과 같은 횡월류 위어의 월류량 산정식을 이용하여 강변저류지로의 분기유량을 계산하였다.

$$Q = C \cdot L \cdot H^{3/2} \quad (1)$$

여기서,  $Q$ : 월류유량,  $C$ : 유량계수,  $L$ : 월류웨어폭,  $H$ : 월류수위

월류부 폭이 상대적으로 넓어 수면과 월류부상단이 평행하지 않을 경우 Eq. (1)의 유량계수  $C$ 를 계산하기 위해 Hager의 횡월류유량공식(Hager, 1987)을 적용할 수 있으나, 본 연구에서는 안태진 등(2008) 및 백천우와 안태진(2009) 및 백천우 등(2010)의 연구에서와 같이 횡월류부에서의 수면과 월류부 상단이 평행하다고 가정하여 USACE(2008)가 추천한 1.11을 횡월류계수  $C$ 값으로 적용하였다.

## 2.2 강변저류지 경제성 분석

대상유역 내에 강변저류지를 설치할 경우, 직접적인 홍수저감효과는 물론이고 습지, 농지 등의 활용으로 인한 가치 또한 발생하게 된다. 하지만 기존에 수행된 강변저류지 최적위치 선정과 관련된 많은 연구에서는 강변저류지의 다양한 편익을 정량화하기 어려운 관계로 홍수저감효과만을 최적위치선정을 위한 기준으로 사용하였다. 하지만 전술한 바와 같이 강변저류지는 홍수저감목표 이외에도 다양한 용도로 활용할 수 있으며, 강변저류지 계획에 있어서 이와 같이 다양한 용도로 활용할 경우 발생하는 효과는 반드시 고려되어야 할 것이다. 이를 위해 각 용도로 활용할 경우 발생하는 효과를 정량적으로 평가할 필요가 발생하며, 본 연구에서는 경제성 분석을 이용하여 정량적 평가를 수행하였다.

수공구조물의 경제성분석에 사용되는 대표적인 방법으로는 편익-비용비(Benefit-Cost ratio)방법이 있으며, 편익-비용비 방법은 의사결정을 하는데 있어 투입되는 비용의 현가와 얻어지는 편익의 현가의 비를 구하여 대안들 중 최적의 대안을 선정하는 기법을 말한다. 편익-비용비 방법에서 사용되는 B/C비는 다음 Eq. (2)에 의해 선정된다.

$$B/C = \frac{\text{편익의 현가}}{\text{비용의 현가}} = \frac{\text{연간편익}}{\text{연간비용}} \quad (2)$$

일반적으로 B/C비가 1 이상이면 경제성이 있다고 판단하며, 두 가지 대안의 비용이나 편익 중 한 가지가 동일한 경우에는 B/C비가 큰 대안이 되지만 비용과 편익이 모두 상이한 경우에는 대안의 이용과 편익의 차액을 구한 후 이 차액에 대한  $\Delta B/\Delta C$ 가 1보다 크면 투자액이 큰 대안을 선정하고, 1보다 작은 경우에는 투자액이 작은 안을 선정하는 증분분석을 실시해야 한다(정중호와 윤용남, 2007).

Eq. (2)와 같이 선정되는 강변저류지의 B/C비를 계산하기 위해 본 연구에서는 강변저류지 설치를 위해 소요되는 비용을 크게 건설비용과 토지매입비용으로 나누어 선정하였으며, 강변저류지 설치로 인해 발생하는 이익은 홍수피해저감액과 습지설치로 인한 연간이득으로 구분하여 선정하였다. 각각의 비용과 편익의 산정방법 및 과정은 3.2절에서 자세하게 설명하였다.

## 2.3 경제성분석 기반의 최적위치 선정 기법

안태진 등(2008), 백천우 등(2009) 및 백천우와 안태진(2009)은 강변저류지군의 수문네트워크 분석에 의해 홍수저감량을 산정하였으며, 선정된 홍수저감량을 바탕으로 강변저류지의 규모와 위치 선정을 위한 기준으로 사용하였다. 이들 연구에서는, 유역출구에서의 홍수저감량( $\Delta Q_p^{outlet}$ )을  $x_{outlet}$ , 유역출구에서의 강변저류지 설치 전의 침투홍수량을  $Q_{pBefore}^{outlet}$ , 유역출구에서의 강변저류지 설치 후의 침투홍수량을  $Q_{pAfter}^{outlet}$ , 강변저류지를 설치하는 후보강변저류지의 용량을  $V_j$ , 강변저류지를 설치하는 후보강변저류지의 최대용량을  $V_j^{max}$ , 그리고 설치되는 후보강변저류지 수를  $m$ 이라 할 때, 강변저류지의 최적위치 및 규모선정을 위해 다음 Eq. (3)과 같이 표현되는 적합도함수를 사용하였다.

$$\begin{aligned} \text{Maximize } B &= x_{outlet}^{outlet} = \Delta Q_p^{outlet} = Q_{pBefore}^{outlet} - Q_{pAfter}^{outlet} \quad (3) \\ \text{subject to } &V_j \leq V_j^{max} \quad \text{for } j=1, \dots, m \end{aligned}$$

본 연구에서는 경제성분석 기반의 강변저류지의 최적

위치 선정을 위해 홍수저감량만을 이용한 Eq. (3)과 경제성분석을 위한 Eq. (2)를 이용하여 다음 Eq. (4)와 같이 표현되는 적합도함수를 이용하였다.

$$\text{Maximize } B = B/C = \frac{\sum_{j=1}^m B_j}{\sum_{j=1}^m C_j} \quad (4)$$

여기서,  $B_j$  : 저류지  $j$ 의 연평균 편익  
 $C_j$  : 저류지  $j$ 의 연평균 비용  
 $m$  : 설치되는 저류지 수

Eq. (4)와 같이 표현되는 적합도함수와 유전자알고리즘을 이용하여 최적의 강변저류지 위치를 선정하였으며, Fig. 2는 본 연구에서 제안한 의사결정기법의 구조를 나타내고 있다.

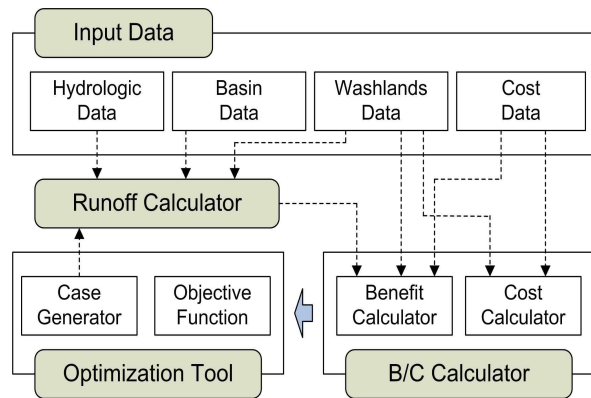


Fig. 2. Structure of Suggested Algorithm

### 3. 대상유역 및 비용-편익 선정자료

#### 3.1 대상유역

본 연구에서는 경제성분석에 의해 강변저류지의 최적 위치를 결정하기 위한 방안을 제시하였으며, 안성천 유역을 대상유역으로 제안된 방법의 적용성을 검토해보았다. 안성천 유역의 면적은 1,658 km<sup>2</sup>이며, 유로연장은 59.51 km (103개 하천)로, 북동쪽으로는 한강유역, 남동쪽으로는 금강유역, 남서쪽으로는 삼교천 유역과 접하고 있다. “안성천수계 유역종합치수계획 (건설교통부, 2007)”에서는 홍수조절을 목적으로 13개의 강변저류지 후보지역을 검토하였으며, Fig. 3과 Table 1은 대상 유역내 강변저류지 후보지 현황과 제원을 나타내고 있다.

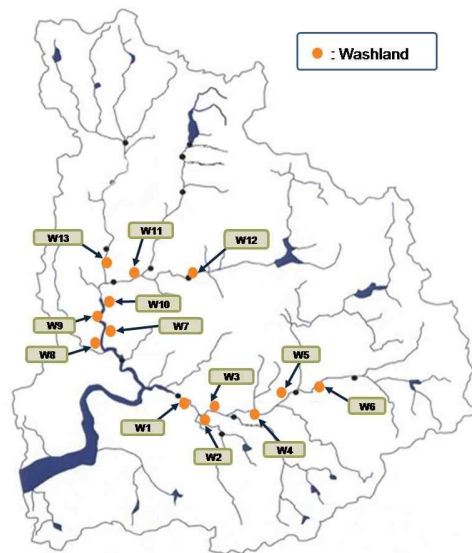


Fig. 3. Ansoeng River Basin

Table 1. Characteristics of Washland in Anseong River Basin

Washland ID	Name of Washland	Max. Storage Capacity (m <sup>3</sup> )	Top El. of Weir (m)	Width of Weir (m)	Rating Curve Applied
W1	Pyungkoong	575,000	6.50	30	$H = 0.411 \times Q^{0.379}$
W2	Shinka	2,784,000	7.60	75	$H = 1.605 \times Q^{0.222}$
W3	Joongbok	3,543,000	8.50	75	$H = 2.487 \times Q^{0.183}$
W4	Yangryung	1,362,000	10.49	100	$H = 3.825 \times Q^{0.145}$
W5	Keonchun	1,060,000	12.70	75	$H = 6.047 \times Q^{0.109}$
W6	Shinkyee	297,000	14.30	100	$H = 6.613 \times Q^{0.106}$
W7	Doongchung	4,151,000	5.50	50	$H = 0.133 \times Q^{0.496}$
W8	Bekbong	2,240,000	5.50	30	$H = 0.151 \times Q^{0.481}$
W9	Uhyeon	4,662,000	6.00	70	$H = 0.203 \times Q^{0.449}$
W10	Moonkok	7,909,000	7.00	200	$H = 0.284 \times Q^{0.415}$
W11	Hoihwa	3,293,000	9.00	70	$H = 1.439 \times Q^{0.254}$
W12	Shinri	2,015,000	13.60	70	$H = 8.321 \times Q^{0.074}$
W13	Madoo	8,976,000	7.70	70	$H = 0.642 \times Q^{0.377}$

### 3.2 강변저류지 설치비용 산정

현재 국내에는 설치된 강변저류지가 없으며, 강변저류지 설치비용 산정을 위한 명확한 기준도 미비한 관계로, 본 연구에서는 “낙동강 유역종합치수계획 (건설교통부, 2004)”에서 산정한 낙동강 유역의 20개 강변저류지 후보지의 예상건설비용을 유효저류량과 연계하여 강변저류지 설치비용을 산정하였다. Fig. 4는 낙동강 유역의 20개 강변저류지 후보지의 ‘유효저류량-예상건설비’ 관계곡선을 나타내고 있으며, 본 연구에서는 다음 Eq. (5)를 이용하여 각 저류지의 건설비용을 산정하였다.

$$C = 11,506 \times e^{1E-04 \times V} \quad (5)$$

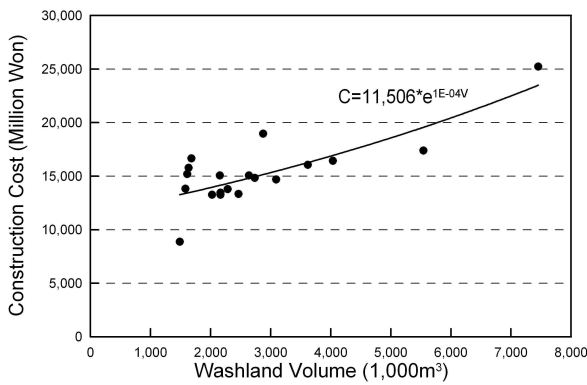


Fig. 4. Construction Cost Curve for Washlands in Nakdong River Basin Depending on Storage Volume

여기서,  $C$ : 예상건설비 (백만원),  $V$ : 저류지의 유효저류량 ( $m^3$ )

Eq. (5)에 의해 산정된 비용은 강변저류지의 건설에 필요한 비용이며, 각 강변저류지 지역의 공시지가를 활용하여 강변저류지에 해당되는 지역의 부지 (단, 국공유지비용은 50%로 가정)를 전량 매입하는 방식으로 토지매입비용을 산정하고 건설비용에 토입매입비용의 합하여 강변저류지의 총설치비용을 산정한다.

강변저류지의 연평균 비용은 총설치비용에 다음 Eq. (6)과 같은 자본회원계수 (capital recovery factor, CRF)를 곱하여 산정되는 연평균 사업비와 통상 연평균 사업비의 0.5%를 적용하여 계산되는 연평균 유지관리비의 합으로 계산할 수 있다 (정중호와 윤용남, 2007).

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (6)$$

여기서,  $CRF$ : 자본회원계수,  $i$ : 이자율,  $n$ : 내구연한

본 연구에서는 연평균 비용 산정을 위해 연평균 유지관리비를 제외한 총설치비용만을 고려하였으며, 2007년 이후 적용되고 있는 한국개발연구원 (2004)의 자료로부터 이자율과 내구연한을 각각 5.0%와 50년을 적용하였다. Eq. (5)에 의해 계산되는 총설치비용과 Eq. (6)의 자본회원계수를 이용하여 최종적으로 산정된 강변저류지의 연평균비용은 Table 2와 같다.

Table 2. Annual Mean Construction Cost of Washlands

Washland ID	Storage Volume (1,000 m <sup>3</sup> )	Construction Cost (1000 Won)	Land Compensatory Cost (1000 Won)	Total Cost (1000 Won)	Annual Mean Cost (1000 Won)
W1	575	10,591,853	4,357,500	14,949,353	818,877
W2	2,785	13,211,466	15,892,500	29,103,966	1,594,220
W3	3,543	14,251,827	55,105,000	69,356,827	3,799,141
W4	1,362	11,459,111	10,780,000	22,239,111	1,218,186
W5	1,060	11,118,219	13,860,000	24,978,219	1,368,225
W6	297	10,301,454	3,182,500	13,483,954	738,607
W7	4,151	15,145,222	4,335,000	19,480,222	1,067,063
W8	2,240	12,510,710	24,920,000	37,430,710	2,050,332
W9	4,462	15,623,639	18,900,000	34,523,639	1,891,092
W10	7,909	22,053,804	31,200,000	53,253,804	2,917,070
W11	3,293	13,899,948	54,390,000	68,289,948	3,740,700
W12	2,015	12,232,362	63,700,000	75,932,362	4,159,327
W13	8,976	24,537,071	45,650,000	70,187,071	3,844,619

### 3.3 강변저류지 설치편의 산정

#### 3.3.1 홍수저감편의 정량화

수공구조물 설치로 인해 발생하는 홍수저감편익을 산정하기 위해서는 홍수피해지도를 제작하여 수공구조물 설치 전·후의 피해액 차이를 편익으로 하는 방법이 일반적으로 사용되고 있는 방법이다. 하지만 이를 위한 홍수피해지도 등의 직접적인 자료가 부족할 경우 홍수저감편익의 정량화가 어렵게 된다. 본 연구에 대상유역인 안성천 유역도 제작된 홍수피해지도가 없는 관계로, 과거 홍수피해실적을 이용한 간접적인 방법을 적용하여 홍수저감편익을 산정하였다.

Table 3에는 1985년부터 2002년까지의 안성천 유역에 발생한 홍수피해실적(건설교통부, 2007)을 나타내고 있으며, 각각의 홍수피해액은 소비자물가지수를 고려하여 2008년도 기준으로 환산하였다. Table 3에 나타나 있는 홍수피해액과 총강우량 값을 이용하여 Fig. 5와 같이 홍수피해액( $D$ )-총강우량( $R$ ) 관계를 도출하였으며, 도출된 홍수피해액-총강우량 관계식은 다음 Eq. (7)과 같다.

$$D = 1436.6e^{0.0079R} \quad (7)$$

여기서,  $D$ : 홍수피해액(백만원),  $R$ : 총강우량(mm/event)

“안성천수계 유역종합치수계획(건설교통부, 2007)”에

Table 3. Flood Damage in Anseong River Basin (From 1985 to 2002)

Date	Damage (1000 Won)	Unit Converting Factor	Damage in Present Value (1000 Won)	Total Rainfall (mm/event)
2002.08.30	1,972,260	1.21	2,386,435	41.5
2002.08.04	11,143,509	1.21	13,483,646	241.9
2001.07.21	1,368,738	1.24	1,697,235	115.6
2000.08.23	2,195,488	1.29	2,832,180	138.0
1999.07.23	4,204,960	1.32	5,550,547	204.1
1998.07.31	8,774,826	1.33	11,670,519	230.1
1995.08.19	5,809,250	1.57	9,120,523	234.6
1994.08.28	4,337,950	1.64	7,114,238	121.0
1990.06.18	1,858,033	2.12	3,939,030	110.4
1988.07.20	1,477,135	2.44	3,604,209	66.0
1987.07.25	744,539	2.61	1,943,247	110.8
1987.07.21	1,789,251	2.61	4,669,945	163.6
1985.08.13	765,583	2.76	2,113,009	34.5

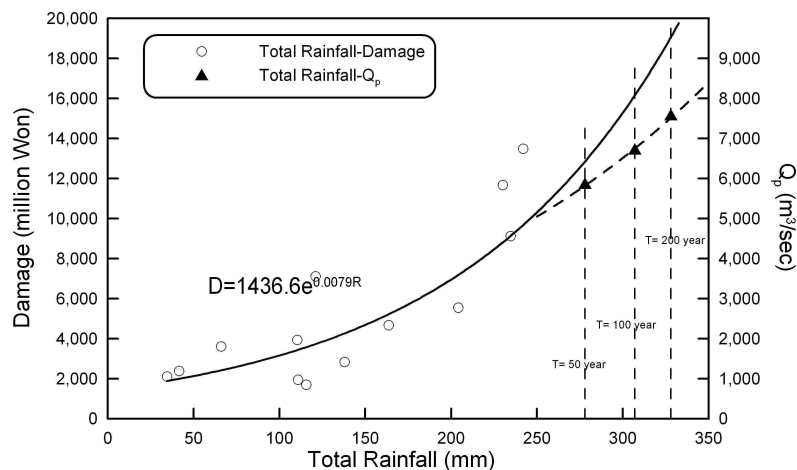


Fig. 5. Rainfall-Damage Relationship

서 산정한 재현기간 50, 100 및 200년에 해당하는 빈도별 총강우량(278, 307 및 328 mm)과 Eq. (7)을 이용하여 50, 100 및 200년 빈도에 해당하는 홍수피해액을 산정하였고, 최종적인 강변저류지 설치로 인해 발생하는 홍수저감량을 홍수저감편익으로 환산하기 위해, 재현기간 50, 100 및 200년에 해당하는 침투홍수량(5840, 6695 및 7546 m<sup>3</sup>/sec)과 홍수피해액을 이용하여 침투홍수량(Q<sub>p</sub>)-홍수피해액(D)관계를 다음 Eq. (8)과 같이 도출하였다.

$$D = 3374.85e^{0.00023Q_p} \quad (8)$$

여기서, D: 홍수피해액(백만원), Q<sub>p</sub>: 침투홍수(m<sup>3</sup>/sec)

단일홍수사상에 대한 피해액은 Eq. (8)과 같은 유역출구침투홍수량-홍수피해액 관계식을 이용해 산정할 수 있지만, 목표하는 내구연한 동안 발생이 예상되는 홍수피해에 대한 연평균 피해액은 유량규모별 예상피해액에 연평

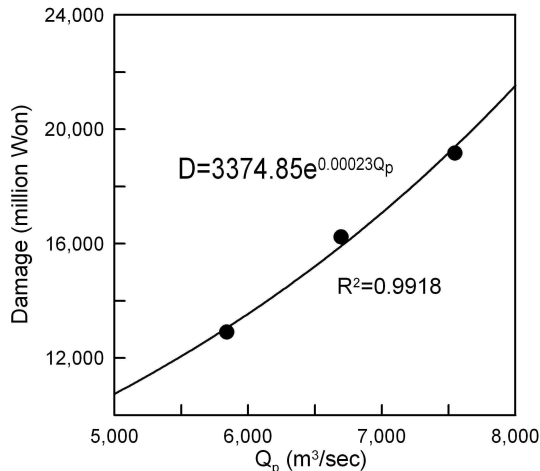


Fig. 6. Qp-Damage Relationship

Table 4. Flood Damage Reduction Depending on Flood Reduction at Basin Outlet

Freq. (year)	Annual Mean Prob.	Sectional Annual Mean Prob.	Sectional Annual Damage Depending on Flood Reduction (m <sup>3</sup> /sec) at Basin Outlet (Million Won)										
			0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1,000
50	0.0200	0.0133	160.80	157.15	153.57	150.08	146.67	143.33	140.07	136.89	133.78	130.74	127.76
80	0.0125	0.0075	103.88	101.52	99.21	96.96	94.75	92.60	90.49	88.43	86.42	84.46	82.54
100	0.0100	0.0025	38.14	37.27	36.42	35.60	34.79	34.00	33.22	32.47	31.73	31.01	30.30
150	0.0067	0.0033	55.65	54.38	53.15	51.94	50.76	49.60	48.48	47.37	46.30	45.24	44.22
200	0.0050	0.0017	30.66	29.96	29.28	28.62	27.97	27.33	26.71	26.10	25.51	24.93	24.36
Annual Mean Damage			389.13	380.29	371.64	363.19	354.93	346.86	338.97	331.27	323.74	316.37	309.18
Ann. Mean Damage Red.			0.00	8.85	17.49	25.94	34.20	42.27	50.16	57.87	65.40	72.76	79.95
FDR=AMDR×α			0.00	32.91	65.08	96.52	127.23	157.26	186.60	215.27	243.29	270.67	297.43

균 발생확률을 고려하는 산정하는 방법(정중호와 윤용남, 2007)을 적용하여 산정할 수 있다. 연평균피해액을 산정하는 과정은 다음과 같다.

- ① 대상 유량규모를 최소유량에서 최대유량 단계로 구분
- ② 유량규모 빈도에 따른 초과확률(연평균 발생확률) 산정 (P=1/T, 여기서 P는 연평균발생확률, T는 재현기간)
- ③ 유량구간별 연평균 발생확률 산정
- ④ 유량규모별 피해액 산정
- ⑤ 유량구간별 평균예상피해액 산정
- ⑥ 유량구간별 연평균피해액 산정(연평균피해액=평균 예상피해액×연평균 발생확률)
- ⑦ 연평균피해액=Σ(유량구간별 연평균피해액)

산정된 연평균피해액은 치수사업 완료후의 단위면적당 생산성의 증가 및 각종 자산의 증가 등을 고려하여 배율계수(α)를 곱하여 조정하는 것이 필요하며, 배율계수(α)는 특별히 세부적인 계산이 필요한 경우를 제외하고는 일반적으로 이자율 8.0%, 경제성장률 7.6%, 내구연한 50년 등으로 적용할 경우에서 산출되는 3.72를 적용한다(정중호와 윤용남, 2007). 본 연구에서는 각 빈도별 기준 홍수량과 Eq. (8)에 의해 계산되는 유역출구침투홍수량-홍수피해액관계를 이용하여 유역출구에서의 홍수저감량에 따른 피해경감액 관계를 다음 Eq. (9)와 같이 도출하였으며, Eq. (9)의 관계식 도출과정은 다음 Table 4와 같다.

$$FDR = 0.2938\Delta Q_p + 7.6566 \quad (9)$$

여기서, FDR: 홍수피해저감액(백만원), ΔQ<sub>p</sub>: 침투홍수저감량(m<sup>3</sup>/sec)



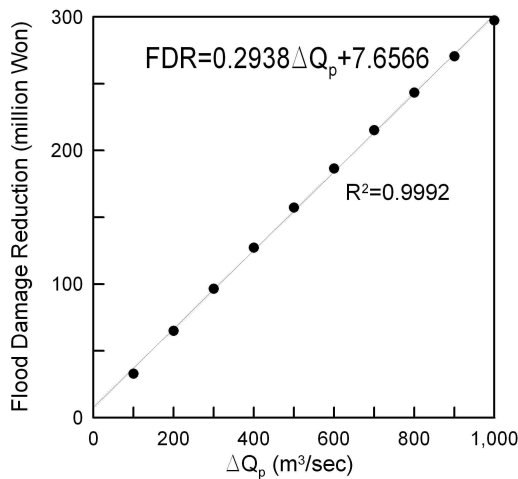


Fig. 7.  $\Delta Q_p$ -FDR Relationship

### 3.3.2 인공습지설치편의 정량화

습지는 동·식물 및 미생물에게 다양한 서식환경을 제공하는 생물다양성의 보고이며, 오염물질의 정화, 홍수조절기능, 국지적인기후조절기능, 여가활용 기능, 심미적 기능 등 환경적으로 사회·문화·경제적으로 그 가치가 매우

높다(국가습지보전사업관리단 2008). 강변저류지는 비홍수기에 습지로의 활용이 가능하며, 본 연구에서는 강변저류지의 성격과 유사한 인공습지의 가치평가 기법(한국건설교통기술평가원, 2009)을 도입하여 강변저류지를 습지로 활용할 경우 발생하는 편익을 산정하였다.

인공습지는 그 규모나 목적에 있어 자연 습지와는 다소 차이가 있으므로, 습지로 활용할 때 발생하는 기능을 결정하고, 각 기능의 항목별 가치를 평가하여 직접적인 경제적 가치를 평가한다. 한국건설교통기술평가원(2009)은 인공습지의 대표적인 기능을 크게 ① 수질오염 저감 기능, ② 생물 서식처 기능, ③ 온실가스 저감 기능, ④ 심미적 기능의 네 가지로 구분하였으며, 인공습지의 경제적 가치를 다음 Eq. (10)에 의해 산정하였다.

$$W_e = a_1 V_1 A_w + a_2 V_2 A_w + a_3 V_3 A_w + a_4 a_{4-1} V_4 A_w \quad (10)$$

여기서,  $W_e$ : 인공습지의 경제적 가치(원/년)

$a_1$ : 인공습지 유형에 따른 수질오염저감부문 가치 가중치

$a_2$ : 인공습지 유형에 따른 생물서식처부문 가치 가중치

$a_3$ : 인공습지 유형에 따른 온실가스저감부문 가치 가중치

$a_4$ : 인공습지 유형에 따른 심미적기능부문 가치 가중치

Table 5. Weighting Factors for Functions of Artificial Wetland

Weighting Factor	Conditions of Each Function	Weighting Factor Value		
		Natural Type	Half-natural Type	High Efficiency Type
$a_1$	Detention Period < 12 hr	0.5	0.85	1.15
	12 hr ≤ Detention Period ≤ 48 hr	1.0	1.70	2.30
	Detention Period > 48 hr	1.2	2.04	2.76
$a_2$	No biological protected area in the neighborhood	1.0		
	Protected area for amphibians or wetland birds in the neighborhood	1.1		
	No protected area for amphibians or wetland birds in the neighborhood	1.2		
$a_3$	(Vegetated area in Wetland) / (Wetland area) = 40 %	0.4		
	(Vegetated area in Wetland) / (Wetland area) = 60 %	0.6		
	(Vegetated area in Wetland) / (Wetland area) = 80 %	0.8		
	(Vegetated area in Wetland) / (Wetland area) = 100 %	1.0		
$a_4$	Developing only artificial wetland	1.0		
	Developing simple walking path and observation deck	1.2		
	Developing park and ecological study area	1.5		
$a_{4-1}$	Inside of urban area, near to urban area, or easy to access from urban area	1.2		
	Far from urban area or difficult to access from urban area	1.0		

Table 6. Annual Value of Washlands as a Wetland in Anseoung River Basin

Washland ID	Washland Name	Surface Area (km <sup>2</sup> )	Value as a Wetland (1000 Won/year)	Note
W1	Pyungkoong	0.21	339,738	$a_1 : 1.0$ $a_2 : 1.0$ $a_3 : 0.6$ $a_4 : 1.5$ $a_{4-1} : 1.0$ $V_1 : 648 \text{ Won}$ $V_2 : 644 \text{ Won}$ $V_3 : 18 \text{ Won}$ $V_4 : 210 \text{ Won}$
W2	Shinka	1.63	2,637,014	
W3	Joongbok	2.06	3,332,668	
W4	Yangryung	0.77	1,245,706	
W5	Keonchun	0.99	1,601,622	
W6	Shinkyee	0.67	1,083,926	
W7	Doongchung	1.02	1,650,156	
W8	Bekbong	0.56	905,968	
W9	Uhyeon	1.05	1,698,690	
W10	Moonkok	1.56	2,523,768	
W11	Hoihwa	1.47	2,378,166	
W12	Shinri	1.30	2,103,140	
W13	Madoo	2.20	3,559,160	

$a_{4-1}$ : 인공습지 설치지점에 따른 심미적기능부문 가치 가중치  
 $V_1$ : 인공습지의 수질오염저감부문에 대한 단위 가치 (원/m<sup>2</sup>·년)  
 $V_2$ : 인공습지의 생물서식처부문에 대한 단위 가치 (원/m<sup>2</sup>·년)  
 $V_3$ : 인공습지의 온실가스저감부문에 대한 단위 가치 (원/m<sup>2</sup>·년)  
 $V_4$ : 인공습지의 심미적기능부문에 대한 단위 가치 (원/m<sup>2</sup>·년)  
 $A_w$ : 인공습지의 설치 면적 (m<sup>2</sup>)

인공습지의 경제적 가치를 평가하기 위해서는 Eq. (10)에 나타나 있는 각 기능요소별 단위가치와 가중치를 산정해야 하며, 본 연구에서는 한국건설교통기술평가원 (2009)의 연구결과를 바탕으로 648, 644, 18 및 210 원/m<sup>2</sup>/년을 각각 수질오염 저감부분, 생물 서식처 부분, 온실가스 저감부분 및 심미적 가치부분의 단위가치로 적용하였다. 또한 인공습지의 기능요소별 가중치는 Table 5 (한국건설교통기술평가원, 2009; 및 국가환경정보센터, 2009)를 이용해 산정할 수 있다. 다만, “안성천수계 유역종합치수계획 (건설교통부, 2007)”에서 계획 중인 13개 강변저류지의 인공습지 기능요소별 가중치 결정을 위한 구체적인 자료가 없는 관계로, 본 연구에서는 체류시간 48hr 미만의 자연형 인공습지로, 도심에서 접근이 용이치 않으며 생태공원과 함께 추진하고, 식생면적이 습지총면적의 60%, 인근에 멸종위기 조류의 서식처가 없다고 가정하여 강변저류지를 습지로 활용할 경우 발생하는 편익을 산정하였다. 최종적으로 산정된 안성천 유역내 강변저류지의 습지가치는 다음 Table 6과 같다.

#### 4. 적용 및 결과

##### 4.1 단일 저류지별 비용-편익분석

제안된 기법을 이용하여 안성천 유역의 13개 후보강변저류지에 대한 경제성평가를 수행하였다. 각 저류지를 단독으로 설치했을 때 발생하는 편익과 비용을 산정하였으며, 단 저류지의 홍수저감편익은 유역출구 홍수저감량을 기준으로 하였다. Table 7에 산정된 각 저류지의 B/C비가 나타나 있다.

기존의 연구와 같이 홍수저감량만을 고려하고 단독으로 강변저류지를 설치할 경우, 유역출구에서 가장 큰 홍수저감 효과를 주는 W13이 가장 우선적으로 설치해야 할 저류지로 판단할 수 있을 것이다. 하지만 경제성을 고려할 경우, 1.68의 B/C비가 산정된 W2가 비용대비 효과가 가장 큰 저류지로 선정되었다. W2의 저류용량은 2,784,000 m<sup>3</sup>으로 W13의 저류용량인 8,976,000 m<sup>3</sup>의 1/3 정도이지만, 인공습지로서의 가치와 홍수저감편익이 2,671 백만원으로 3,645백만원으로 산정된 W13의 73%로, 비용대비 높은 편익을 발생시키는 강변저류지이기 때문이다. 물론 강변저류지의 편익산정에 오차가 있을 수도 있지만, 이와 같은 결과는 기존의 연구에서와 같이 홍수저감량만을 고려하여 강변저류지의 위치를 결정하는 것이 아닌, 경제성을 고려하는 것이 보다 실질적인 의사결정의 기준으로 사용될 수 있다는 것을 나타내는 것이라 판단된다.

#### 4. 경제성분석 기반의 최적위치 선정결과

Table 7에 나타나 있는 각각 저류지의 경제성분석 결과를 이용하고, 단일 강변저류지만을 설치한다고 가정하면 W2, W7, W6 강변저류지 순으로 경제적으로 우수하다고 판단된다. 하지만 강변저류지 다수를 조합할 경우 각 강변저류지별 상·하류 위치관계 등으로 인하여 상류에 위치한 강변저류지가 하류에 위치한 강변저류지의 유입수 문곡선에 영향을 미치기 때문에 모든 경우의 수에 대하여 홍수저감효과를 산정하고 홍수저감효과로 인한 편익과 이외의 인자를 고려하여 B/C비를 산정해 보아야 하는 문제점이 따르게 된다. 안성천 유역의 경우 13개 저류지에 대한 모든 경우의 수가 8,192회에 해당하므로 상기한 바와 같이 물리적인 방법으로 모든 경우의 수에 대한 분석을 수행하기에는 부담이 있다. 따라서 본 연구에서는 안태진 등 (2008)의 모형에 경제성 부분을 결정변수로 추가하여 강변저류지 조합 개수별로 최적의 조합을 산정하는 방법을 이용하였다.

Table 8에 나타나 있는 최적조합 선정 결과를 보면, 강변저류지 1개소에서 5개소 선택까지는 Table 7에서 선정된 B/C비가 높은 강변저류지가 우선순위로 선정되는 결과를 보였다. 하지만, 6개소와 7개소를 설치할 경우, B/C비가 0.95인 W13이 아닌 0.93의 W9과 0.42로 가장 낮은

W1이 차례로 선택되었다. 이는 전술한 바와 같이 강변저류지 다수를 조합할 경우 각 강변저류지별 상·하류 위치관계 등으로 인하여 상류에 위치한 강변저류지가 하류에 위치한 강변저류지의 유입수문곡선에 영향을 미치기 때문으로 판단된다. 또한 강변저류지 설치수가 늘어날수록 B/C비가 낮아지는 현상을 볼 수 있었는데, 이는 경제적으로 효율적이지 못한 강변저류지를 포함하여 생기는 현상으로 판단된다. 본 연구에서 선정된 결과로는 강변저류지 10개소 조합까지 B/C비가 '1' 이상으로 투자대비 효율이 있다고 판단되며, 11개소, 12개소 13개소는 B/C비가 '1' 이하로 투자대비 효율이 좋지 못한 것으로 판단된다.

Table 9에는 안태진 등 (2008)이 유역출구에서의 홍수저감량을 기준으로 선정된 안성천유역 강변저류지의 최적조합과, 해당 조합에 해당하는 편익, 비용 및 B/C비가 나타나 있다. 홍수저감량을 기준으로 선정된 최적조합은 Table 7에 산정된  $\Delta Q_p$ 가 높은 강변저류지 위주로 최적 조합에 선택되었으나, 이들의 경제성은 Table 8에서 결정된 조합들보다 낮은 경제성을 보이고 있으며, 강변저류지를 6~8개 선택하는 경우를 제외하고는 모두 1보다 낮은 B/C비 값을 나타내고 있다. 즉, 보다 효율적인 강변저류지 위치를 결정하기 위해서는 홍수저감량만을 고려하기 보다는 홍수저감효과도 고려하되 다른 편익을 모두 고려한 경제성 분석이 보다 적합할 것으로 판단된다.

Table 7. Annual Benefit and Cost of a Single Washland in Anseoung River Basin

Washland ID	Storage Volume (m <sup>3</sup> )	Annual Cost (million Won)	Annual Benefit				B/C
			Value as a Wetland (million Won)	Flood Damage Reduction		Total Benefit (million Won)	
				$\Delta Q_p$	FDR (million Won)		
W1	575,000	818.88	339.74	0.58	7.84	347.56	0.42
W2	2,784,000	1,594.22	2,637.01	88.30	33.61	2,670.62	1.68
W3	3,543,000	3,799.14	3,332.67	73.53	29.27	3,361.93	0.88
W4	1,362,000	1,218.19	1,245.71	37.98	18.83	1,264.52	1.04
W5	1,060,000	1,368.23	1,601.62	31.11	16.81	1,618.42	1.18
W6	297,000	738.61	1,083.93	3.85	8.80	1,092.71	1.48
W7	4,151,000	1,067.06	1,650.16	137.17	47.97	1,698.11	1.59
W8	2,240,000	2,050.33	905.97	83.89	32.32	938.27	0.46
W9	4,662,000	1,891.09	1,698.69	157.99	54.04	1,752.76	0.93
W10	7,909,000	2,917.07	2,523.77	247.02	80.24	2,604.00	0.89
W11	3,293,000	3,740.70	2,378.17	25.59	15.19	2,393.34	0.64
W12	2,015,000	4,159.33	2,103.14	2.03	8.27	2,111.39	0.51
W13	8,976,000	3,844.62	3,559.16	265.08	85.55	3,644.70	0.95

**Table 8. Optimal Combination of Washlands in Anseoung River Basin Based on B/C Ratio**

Total Number of Washland	Optimal Combination of Washlands	Flood Reduction at Outlet (m <sup>3</sup> /sec)	Total Annual Cost (million Won)	Total Annual Benefit (million Won)	B/C
1	W2	88.30	1,594.22	2,670.62	1.68
2	W2, W7	225.55	2,661.28	4,361.09	1.64
3	W2, W6, W7	229.27	3,399.89	5,446.11	1.60
4	W2, W5, W6, W7	258.39	4,768.12	7,056.29	1.48
5	W2, W4, W5, W6, W7	296.96	5,986.31	8,313.33	1.39
6	W2, W4, W5, W6, W7, W9	435.17	7,877.40	10,052.63	1.28
7	W1, W2, W4, W5, W6, W7, W9	437.26	8,696.28	10,392.98	1.20
8	W1, W2, W4, W5, W6, W7, W9, W13	635.43	12,540.90	14,010.36	1.12
9	W1, W2, W4, W5, W6, W7, W9, W10, W13	729.51	15,457.97	16,561.77	1.07
10	W1, W2, W3, W4, W5, W6, W7, W9, W10, W13	838.90	19,257.11	19,926.57	1.03
11	W1, W2, W3, W4, W5, W6, W7, W8, W9, W10, W13	872.89	21,307.44	20,842.53	0.98
12	W1, W2, W3, W4, W5, W6, W7, W8, W9, W10, W11, W13	879.59	25,048.14	23,222.66	0.93
13	W1, W2, W3, W4, W5, W6, W7, W8, W9, W10, W11, W12, W13	879.96	29,207.47	25,325.91	0.87

**Table 9. Optimal Combination of Washlands in Anseoung River Basin Based on Flood Reduction at Basin Outlet**

Total Number of Washland	Optimal Combination of Washlands	Flood Reduction at Outlet (m <sup>3</sup> /sec)	Total Annual Cost (million Won)	Total Annual Benefit (million Won)	B/C
1	W13	265.12	3,844.62	3,644.71	0.95
2	W10, W13	404.27	6,761.69	6,209.40	0.92
3	W3, W10, W13	504.57	10,560.83	9,571.50	0.91
4	W3, W9, W10, W13	591.32	12,451.92	11,295.67	0.91
5	W2, W3, W9, W10, W13	677.21	14,046.14	13,957.92	0.99
6	W2, W3, W7, W9, W10, W13	732.83	15,113.20	15,624.42	1.03
7	W2, W3, W4, W7, W9, W10, W13	783.54	16,331.39	16,885.02	1.03
8	W2, W3, W4, W5, W7, W9, W10, W13	823.75	17,699.62	18,498.46	1.05
9	W2, W3, W4, W5, W7, W8, W9, W10, W13	856.14	19,749.95	19,413.94	0.98
10	W1, W2, W3, W4, W5, W7, W8, W9, W10, W13	869.10	20,568.83	19,757.49	0.96
11	W1, W2, W3, W4, W5, W7, W8, W9, W10, W11, W13	875.80	24,309.53	22,137.62	0.91
12	W1, W2, W3, W4, W5, W6, W7, W8, W9, W10, W11, W13	879.59	25,048.14	23,222.66	0.93
13	W1, W2, W3, W4, W5, W6, W7, W8, W9, W10, W11, W12, W13	879.96	29,207.47	25,325.91	0.87

본 연구에서는 기존의 강변저류지 제원을 이용하여 강변저류지 설치 수별로 최대의 경제적효과를 내는 조합을 선정해 보았다. 다만, 경제적으로 우수한 강변저류지 최적 조합 선정을 위해 사용된 침투홍수저감효과 정량화 방법,

인공습지의 가치 정량화 방법 등은 일반화된 방법이 아니므로 실시설계단계에서의 적용에는 무리가 있지만, 기본 계획 단계에서 경제성을 고려하여 강변저류지 최적위치 조합을 선정할 때 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로

판단된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 강변저류지 설치계획 수립을 위한 기준으로 사용할 수 있는 경제성평가 기반의 최적위치 선정방안에 대해 제시하였다.

- 1) 강변저류지 설치에 소요되는 비용을 크게 건설비용과 토지매입비용으로 나누어 산정하였으며, 강변저류지 설치로 인해 발생하는 이익을 홍수피해저감액과 습지설치로 인한 연간이득으로 구분하여 산정하였다.
- 2) 홍수량-홍수피해액 관계를 간접적으로 도출하는 방안을 제시하였으며, 인공습지의 가치평가기법을 도입하여 강변저류지의 습지활용 시에 발생하는 이익을 정량화 하였다.
- 3) 제안된 방안을 이용하여 안성천 유역의 13개 후보 강변저류지에 대한 경제성평가를 수행하였다. 그 결과, 기존의 연구에서와 같이 홍수저감량만을 고려하여 강변저류지의 위치를 결정하는 것이 아닌, 경제성을 고려하는 것이 보다 실질적인 의사결정의 기준으로 사용될 수 있다는 것으로 나타났다.
- 4) 홍수저감효과를 이용한 안태진 등 (2008), 백천우 등 (2009) 및 백천우와 안태진 (2009)의 모형을 보완하여, 경제성평가기법을 이용한 최적위치 선정 방안을 제안하였다. 제안된 의사결정기법을 안성천유역의 13개 후보강변저류지를 대상으로 적용하였으며, 기존에 홍수저감효과만을 이용한 모형의 결과와 비교분석하였다. 비교 결과, 홍수저감량만을 고려한 기존의 결과와 비교할 때 보다 높은 경제성을 제공할 수 있는 최적조합선정이 가능하였고, 이는 강변저류지 최적위치조합을 선정할 때 보다 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단되었다.
- 5) 하지만 본 연구에서는 자료부족으로 인해 낙동강유역의 자료를 이용하여 강변저류지 설치비용을 산정하였으며, 과거 홍수피해실적을 이용한 간접적인 방법을 적용하여 강변저류지의 홍수저감편익을 산정하였다. 간접적인 방법을 이용할 경우 홍수량감소에 따른 홍수피해액 경감액 산정에 있어서 차이가 발생할 수 있을 것이다. 또한 강변저류지의 습지로서의 가치평가를 위한 연구도 아직은 초기단계이므로, 관련된 연구가 진행되고 충분한 자료가 축적될 경우 실질적인 홍수량-피해액 관계 정립과 습지가치의 평가가 가능할 것이며, 본 연구에서 제안한 기법의 적용성도 증가할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

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

## 참고문헌

- 강수만, 박민지, 김상호, 김성준 (2007). “홍수범람모형을 이용한 침수피해 저감방안 연구: 진위천 하천구간을 대상으로.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제27권, 제6B호, pp. 583-590.
- 건설교통부 (2004). **낙동강유역종합치수계획**, 건설교통부.
- 건설교통부 (2005). **천변저류지 기본계획 수립에 관한 연구**, 건설교통부.
- 건설교통부 (2007). **안성천수계 유역종합치수계획**, 건설교통부.
- 곽재원, 김덕길, 윤선화, 김형수 (2008). “다차원법을 이용한 천변저류지의 홍수조절 효과분석.” **한국습지학회지**, 한국습지학회, 제10권, 제3호, pp. 69-78.
- 국가습지보전사업관리단 (2008). **우리나라 주요 습지의 경제적 가치 평가 연구/UNDP-GEF 국가습지보전사업관리단[편]**, 국가습지보전사업관리단, pp. 3~4.
- 국가환경정보센터 (2009). **인공습지의 경제적 이익에 관한 연구**, 국가환경정보센터 (<http://www.konetic.or.kr>)
- 백천우, 김복천, 안태진 (2009). “월류부특성변화에 따른 천변저류지군의 홍수저감효과분석.” **한국방재학회논문집**, 한국방재학회, 제9권, 제1호, pp. 145-150.
- 백천우, 변천일, 김도현, 안태진 (2010). “강변저류지군의 홍수저감효과 개선방안에 대한 연구.” **한국방재학회논문집**, 한국방재학회, 제10권, 제2호, pp. 123-133.
- 백천우, 안태진 (2009). “설계빈도를 고려한 천변저류지 최적위치 선정.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제42권, 제7호, pp. 559-569.
- 안태진, 강인용, 백천우 (2008). “수문학적 홍수저감효과 기반의 천변저류지 최적위치 선정을 위한 의사결정모형의 개발.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제41권, 제7호, pp. 725-735.
- 정중호, 윤용남 (2007). 수자원설계실무, 구미서관.
- 한국개발연구원 (2004). **예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 연구 (제4판)**, 한국개발연구원.
- 한국건설교통기술평가원 (2009). **홍수터 보전/복원 기술 개발 (06건설핵심B01)**, 한국건설교통기술평가원, pp.

- 297-372.
- Anrold, J.G., Allen, P.M., and Morgan, D.S. (2001). "Hydrologic model for design and constructed wetlands." *Wetland*, Vol. 21, No. 2, pp. 167-178.
- David, P., and Ronald H.F. (1992). *Management of the aire and calder washlands-performance evaluation and optimisation by numerical modelling*, *Floods and Flood Management: Edited by Saul A.J.*, Kluwer Academic Publishers.
- English Nature (2004). *Integrated washland management for flood defence and biodiversity*. Research No. 598.
- Forster, S., Kneib, D., Gocht, M., and Bronstert, A. (2005). "Flood risk reduction by the use of retention areas at the Elbe river." *International Journal of River Basin Management*, IAHR, INBO and IAHS, Vol. 3, No. 1, pp. 21-30.
- Hager, W.H. (1987). "Lateral outflow over side weirs." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE Vol. 113, No. 4, pp. 491-504.
- Hammer (1989). *Constructed wetlands for wastewater treatment*. Lewis Publishers, Chelsea, MI, USA.
- Kadlec, R.H., and Knight, R.L. (1986). *Treatment wetlands*. CRC, Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA.
- Kamedulski, G.E., and McCuen, R.H. (1979). "Evaluation of alternatives stormwater detention policies." *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, Vol. 105, No. WR2, pp. 171-186.
- Kusler, J.A., and Kentula, H.E. (1996). *Wetland restoration and creation: The Status of the science*. Island Press, Washington, DC, USA.
- Ormsbee, L.E., Houck, M.H., and Delleur, J.W. (1987). "Design of dual-purpose detention system using dynamic programming." *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, Vol. 113, No. 4, pp. 471-484.
- Travis, Q.B., and Mays, L.W. (2008). "Optimizing retention basin networks." *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, Vol. 134, No. 5, pp. 432-439.
- USACE (U.S. Army Corps of Eng.) (2008). "Modeling lateral structures." In HEC-RAS (Ver. 4.0) Hydraulic Reference Manual, USACE (Ed.). (8-14)-(8-18).
- Yeh, C.H., and Labadie, J.W. (1997). "Multiobjective watershed-level planning of storm water detention systems." *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, Vol. 123, No. 6, pp. 336-343.

논문번호: 10-030	접수: 2010.04.16
수정일자: 2010.06.25/07.28	심사완료: 2010.07.28