

수문학적 홍수저감효과 기반의 천변저류지 최적위치 선정을 위한 의사결정모형의 개발

Development of Decision Making Model for Optimal Location of Washland based on Flood Control Effect estimated by Hydrologic Approach

안 태 진* / 강 인 웅** / 백 천 우***

Ahn, Tae Jin / Kang, In Woong / Baek, Chun Woo

Abstract

Due to recent climate change, flood damages have been increased, but it is difficult to construct large hydraulic structure for flood control such as dam because of environmental, economical and political problems. For this reason, several researches and studies have tried to use washland as an alternative of hydraulic facility. Because sizes of washlands are usually smaller than those of dams or reservoirs, there can be many available locations for washlands in a basin and proper combination of these locations can reduce flood disasters efficiently. However, in case there are many available locations for washland and many combinations to consider, it is very difficult to determine the optimal combination which yields to provide the maximum benefit. For the more, hydraulic approach that used in previous studies to calculate flood reduction effect needs a lot of time for calculation and sometimes can not give the final result. In this study, the flood reduction effect of washland is calculated by hydrologic approach and decision making model for optimal location of washland using genetic algorithm for determination of optimal solution is developed. The developed model has been applied to the Ansung River basin in order to examine the applicability and the application result shows that developed model can be used as decision making model for washland.

keywords : Washland, Optimal Location, Decision Making Model, Genetic Algorithm

요 지

최근 국내에서는 기상이변으로 인한 홍수피해가 증가하고 있으나, 환경, 경제 및 정치적 문제로 인해 댐과 같은 대규모 수공구조물의 설치가 어려우며, 이에 대안으로 천변저류지의 설치를 검토하기 시작했다. 천변저류지는 비교적 규모가 작아 대상유역에 설치가능한 후보지가 다수 존재하며, 이들 후보지를 적절히 조합할 경우 효율적인 홍수 조절효과를 기대할 수 있다. 그러나 천변저류지 후보지가 다수 존재할 경우 최대의 효과를 제공하는 조합을 결정하기는 어려우며, 특히 기존의 연구에서 천변저류지의 홍수조절효과 산정을 위해 사용한 부정류해석과 같은 수리학적 접근방법을 적용할 경우 분석에 한계가 있을 수 있다. 본 연구에서는 수문학적 접근방법을 이용하여 천변저류지의

* 환경대학교 공과대학 토목공학과 교수

Professor, Dept. of Civil Eng., Hankyong National Univ., Ansung 456-749, Korea

** 환경대학교 공과대학 토목공학과 석사과정

Master Student, Dept. of Civil Eng., Hankyong National Univ., Ansung 456-749, Korea

*** 교신저자, 고려대학교 공과대학 방재과학기술연구센터 연구교수

Research Prof., Research Center for Disaster Prevention Scie. and Tech., College of Eng., Korea Univ., Seoul 136-701, Korea
(e-mail: chunoo@korea.ac.kr)

홍수조절효과를 산정하고, 최적화 기법인 유전자알고리즘을 이용하여 다양한 경우에 대한 홍수조절효과를 효율적으로 산정하기 위한 의사결정모형을 개발하였다. 개발된 모형을 안성천수계에 적용하여 모형의 적용성을 검토하였으며, 개발된 모형은 천변저류지 계획 수립을 위한 의사결정모형으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 천변저류지, 최적위치, 의사결정모형, 유전자 알고리즘

1. 서 론

과거 하천정비사업은 홍수를 신속히 유출시키는데 목적이 집중되어 있어, 그 결과 제방위주의 홍수방어능력은 한계를 보이고 있다. 특히 최근 국내에서는 기상 이변으로 인한 홍수피해가 증가하고 있으나, 환경, 경제 및 정치적 문제로 인해 댐과 같은 대규모 수공구조물의 설치가 어려우며, 이에 대한 대안으로 유역종합치수계획에서는 홍수량을 유역 내에 분담할 수 있는 천변저류지의 도입을 검토하고 있다. 천변저류지는 하천 또는 수로에 접한 월류언을 이용하여 침투홍수량의 일부를 저류하는 형식으로 운영되며, 하도흐름에 직접적인 영향을 주는 저류지로, 침투홍수량 조절효과를 제공하며, 그 효과가 즉시 나타나는 특징이 있다. 또한 다른 저류 시설에 비교할 때 농경지 손실이 적고, 침수취약지역에 설치되어 해당 지역의 침수피해를 경감하고 다른 지역의 침수안전성을 제고할 수 있다. 또한 천변저류지는 홍수저감효과 이외에 비홍수기 습지와 농지 등으로 활용할 수 있어, 6월에서 9월에 대부분의 강수가 집중되고 있는 국내의 경우, 비홍수 활용적 측면에서 보유하고 있는 잠재적 가치가 크다는 장점이 있다.

이와 같은 많은 장점에 의해 천변저류지에 대한 활용가치가 증가하고 있지만, 천변저류지의 모든 기능을 포함하는 명확한 정의도 현재 수립되지는 않았으며, 크게 홍수기의 홍수조절을 목적으로 하는 천변저류지, 그리고 비홍수기의 습지활용을 목적으로 하는 천변저류지의 개념이 국내외에서 유사하게 정의되고 있다. 즉 현재 국내외에서 수행된 관련된 연구들은 아직은 초기단계로 추가적인 많은 연구가 필요한 시점이다.

Hammer(1989), Kadlec and Knight (1996), Kusler and Kentula (1996) 및 Anrold *et al.* (2001) 등은 천변저류지의 복원 및 조성인 홍수방어, 수질개선 및 생물 다양성 증진 등을 위한 생태학적 하천복원의 의미 있는 대안이라 제시하였다. English Nature (2004)는 천변저류지의 역할과 이익을 규정하였으며, 천변저류지 복원을 위해 고려할 요소들에 대해 분석하였다. “천변저류지 기본계획 수립에 관한 연구”(건설교통부, 2005)에서는 홍수조절을 목적으로 하는 물리적 관점에서 “하천변

의 홍수터로써 홍수조절을 주목적으로 하고 일정한 수 표면을 유지하거나 토양이 항상 또는 일정기간 동안 포화되는 저류지”, 비홍수기 습지의 관점에서 “저류지 내 물의 순환관계를 유지시켜주고, 수량 및 수질 조절 기능을 수행하며, 생태계의 다양성을 위해 서식처를 제공하는 하천변 홍수터 습지”로 천변저류지를 정의하였고, HEC-RAS의 부정류모의 기능을 이용하여 천변저류지의 홍수조절 효과를 분석하였다. 한건연 등 (2005)은 1차원 부정류해석에 대한 Saint Venant식을 음해법 유한차분형태로 해석한 모형인 DWOPER를 이용하여 하천에서의 천변저류지 홍수저감 효과를 분석하였다. 김형수 등(2006)은 “천변저류지 기본계획 수립에 관한 연구”(2005, 건설교통부)의 결과를 바탕으로 천변저류지의 정의를 수립하고 활용방안을 제시하였다. 전경수 등 (2006)은 Newton-Raphson 방법을 이용한 수리학적 접근방법에 의해 천변저류지의 홍수조절 효과를 분석하였다. 안태진 등(2007a)은 천변저류지 조성 및 계획시 수리 및 수문학적 설계기준에서 검토할 내용을 제시하였다. 김덕길 등 (2007)은 HEC-RAS의 부정류모의 기능과 GIS프로그램인 AV-SWAT모형을 이용하여 토평천 유역의 홍수위 저감효과를 분석하였다. 박창근 등(2007)은 GIS 툴을 이용하여 천변저류지의 저류 가능량을 산정하고, HEC-RAS의 부정류모의 기능과 Storage 기능을 이용하여 천변저류지를 활용한 화포천 유역에서의 홍수조절능력을 산정하였다. 안태진 등(2007b)은 “천변저류지 기본계획 수립에 관한 연구” 결과를 바탕으로 천변저류지의 기능을 홍수기 홍수조절기능, 비홍수기 습지기능 및 기타기능의 두 가지로 분류하였으며, 각 기능으로 발생하는 이익의 정량화 방안을 제시, 정량화된 이익을 바탕으로 최소의 비용과 최대의 이익을 얻을 수 있는 최적의 천변저류지 위치 및 규모 선정을 위한 의사결정모형의 기본 알고리즘을 제시하였다. 강수만 등 (2007)은 2차원 홍수범람 해석모형인 FLUMEN을 이용하여 진위천 하천구간에 대한 홍수범람해석을 모의하였으며, 천변저류지에 의한 유입량 감소방안을 제시하였다.

유역내 천변저류지 설치를 계획할 경우, 홍수저감효과를 비롯한 경제성분석결과 등을 고려해야 할 것이며,

습지와 농지 등으로 활용될 경우 발생하는 가치 또한 반영되어야 할 것이다. 그러나 천변저류지의 다양한 기능과 가치는 설치에 따른 다양한 이익이 발생시킬 수 있으며 각기 다른 형태로 표현되는 이들 이익들은 하나의 정량화된 수치로 표현하기에는 어려움이 있다. 또한, 일반적으로 천변저류지는 규모가 다른 저류시설에 비해 작아 유역 내 설치가 가능한 다수의 후보지가 존재하며, 실제 “낙동강 유역종합치수계획 (건설교통부, 2004)”에서는 현장조사를 통해 선정된 수계 내에 천변저류지 설치가능지점을 75개소 선정하였다. 즉 이와 같은 후보지를 적절히 조합하여 운영할 경우 홍수저감을 비롯한 많은 효과를 기대할 수 있을 것이나 경제적 이유, 미약한 홍수조절 효과 등과 같은 다양한 제약으로 실제 설치가 가능한 위치와 그 규모에는 한계가 있을 것이다. 따라서 주어진 예산안에서 최대의 효과를 나타내는 최적의 위치와 규모의 결정은 천변저류지 설치계획을 위해 수행되어야 할 것이다.

그러나 전술하였듯이 천변저류지는 규모가 비교적 작은 관계로 대상유역에 다수의 후보지가 존재할 수 있으며, 최적의 효과를 얻기 위한 최적의 규모와 위치를 선정하기 위해서는 이들 다수의 후보지를 이용한 다양한 조합에 대한 분석이 이루어져야 한다. 그러나 “낙동강 유역종합치수계획 (건설교통부, 2004)”에서와 같이 천변저류지 후보지가 75개소 정도로 다수 존재할 경우, 고려해야 할 경우의 수가 무한대로 증가하여 최적의 효과를 제공하는 조합의 선정에 어려움이 발생한다. 예를 들어 75개소의 후보지 중 5개소를 선택하는 경우의 수는 $17,259,390(={}_{75}C_5)$ 개로 수작업으로 통한 최적위치 선정은 불가능해 진다. 특히, 국내에서 천변저류지 도입을 시도하는 가장 큰 이유인 홍수조절효과 분석을 위해서 기존의 연구에서는 HEC-RAS 등과 같은 수리학적 접근모형을 사용하였으며, 특히 유출수문곡선과 같은 시간 항을 고려하기 위해 부정류 해석을 사용하였다. 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 제시하였다.

본 연구에서는 수문학적 접근방법을 이용하여 천변저류지의 홍수조절효과를 산정하고, 최적화 기법인 유전자알고리즘을 이용하여 다양한 경우에 대한 홍수조절

효과를 효율적으로 산정하기 위한 의사결정모형을 개발하였다. 개발된 모형을 안성천수계에 적용하여 모형의 적용성을 검토하였다.

2. 의사결정 모형의 기본 알고리즘

2.1 수문학적 홍수저감효과 산정

HEC-RAS 등과 같은 수리학적 접근모형을 이용하여 천변저류지의 홍수저감효과 산정을 하기 위해서는 유출수문곡선과 같은 시간 항을 고려하기 위해 부정류 해석을 사용하여 하며, 이 경우 고려해야할 경우의 수가 늘어날 경우 수리학적 접근방법으로는 분석에 한계가 있을 수 있다. 따라서 본 연구에서는 수문학적 접근방법을 이용하여 천변저류지의 홍수저감효과를 산정하였다.

수문학적 접근방법을 이용한 홍수저감 효과 산정은 일반적인 홍수조절시설의 홍수조절능력 산정과 동일한 방법을 사용할 수 있으며 HEC-HMS와 같은 기존의 모형을 활용할 수도 있다. 그러나 천변저류지는 하나의 대상유역에 설치가 가능한 후보지가 다수 존재하며 그 규모도 대상후보지에 상황에 따라 다양하게 설치할 수 있다. 즉, 다수의 후보지를 대상으로 최적의 위치와 규모를 산정하기 위해서는 고려해야할 경우에 수가 늘어나며, 각 경우에 대해 기존의 모형을 적용하는 수작업으로는 한계가 있을 수 있다. 특히 특정 유역에 천변저류지를 설치한다 하더라도 유역내 소유역의 유출수문곡선은 변화가 없으며, 다양한 조합에 대한 홍수저감효과를 분석할 때, HEC-HMS와 같은 기존의 모형을 활용할 경우 결과가 항상 동일한 소유역 유출수문곡선을 각각의 경우에 대해 반복수행하는 단점이 발생한다.

본 연구에서는 Fig. 1과 같이 범용소프트웨어인 HEC-HMS를 이용해 각 소유역별 유출수문곡선만을 산정하고, 천변저류지 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.

2.2 천변저류지 홍수조절효과 산정

천변저류지는 Fig. 2와 같이 하천변 제내지에 일정공간을 확보하여, 제방의 일부분을 낮추어서 홍수시 하천이 일정수위 이상 되면 물을 저류지로 배수시키고,

홍수가 종료되면 저류지에 배수된 물을 수문 등을 통해 하천으로 되돌리는 형식으로 홍수를 조절하는 구조물이다.

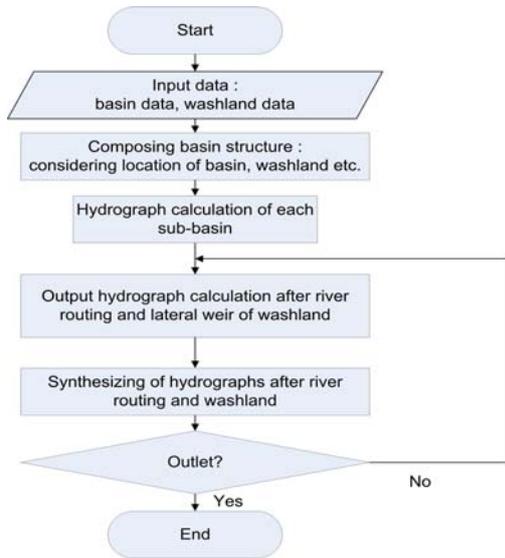


Fig. 1. Flowchart for Runoff Calculation

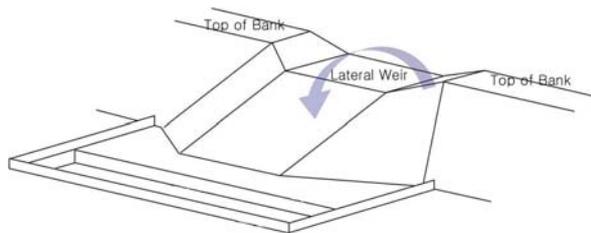


Fig. 2. Structure of Lateral Weir in Washland

“천변저류지 기본계획 수립에 관한 연구”(건설교통부, 2005), 김덕길 등 (2007) 및 박창근 등(2007) 천변저류지의 홍수조절효과를 산정하기 위해 HEC-RAS의 부정규모의 기능과 Storage 기능을 사용하였으며 월류류부 월류량은 다음 Eq. (1)과 같은 weir공식을 이용하여 산정하였다.

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

본 연구에서는 기존의 연구와 동일하게 천변저류지로 유입되는 수문곡선을 입력자료 입력하면, Eq. (1)과 같은 weir공식에 의해 저감된 수문곡선을 출력자료로 산정하는 모듈을 프로그램하여 천변저류지의 홍수조절효과를 산정하였다.

2.3 천변저류지 최적 위치 선정의 기본 알고리즘

안태진 등(2007b)이 최적의 천변저류지 위치 및 규모 선정을 위한 제시한 의사결정모형의 기본 알고리즘은 다음과 같다. 우선 대상유역 내에 천변저류지 설치 가

능후보지를 선정한다. 후보지 선정 방법으로는 대상유역을 잘 파악하고 있는 전문가들의 협의를 통해 선정하는 방법과 김덕길 등 (2007)과 박창근 등(2007)이 사용한 GIS 기법을 이용하는 방법 등이 있다. GIS기술을 활용한 공간자료 모델링의 가장 중요한 기능 중 하나는 시설물의 최적 입지 또는 특정시설물에 대한 입지 적합성(site suitability)을 분석하는 것이다(김형수 등, 2006). 즉 GIS 기법을 이용할 경우 넓은 유역에 대하여 공간분석을 쉽게 수행 할 수 있으며, 일정 기준이상의 저류용적을 확보할 수 있는 부지의 결정과 토지이용상태의 파악이 매우 용이하게 된다. 따라서 비교적 대상유역이 넓은 경우 GIS기법을 이용하여 후보지를 선정하는 것이 보다 효율적일 것으로 판단된다. 후보지가 선정되면 기본적인 측량자료, 가능최대담수용량, 지가를 포함한 보상비, 단위기준당 시공비용, 습지기능 및 기타 기능으로 인한 이익 산정계수 등의 각 후보지와 관련된 자료를 습득한다. 다음은 전체 후보지를 대상으로 천변저류지를 설치할 지점과 규모의 안을 결정한다. 이 때 고려할 사항으로는 전체 예산, 목표 홍수저감용량, 각 후보지의 가능최대 규모 등이 있으며, 결정할 사항은 대상 후보지 중 몇 곳에 어느 정도 규모로 천변저류지를 설치하나 이며, 이 때 결정된 사항은 하나의 안일 뿐 최적화된 결과와는 다르다. 설치 지점과 규모의 안이 결정되면 결정된 안에 대한 적합도함수 값을 계산한다. 적합도함수로는 홍수저감량, (설치비용-침수피해경감), (설치비용-침수피해경감-기타이익) 등을 이용할 수 있다. 다음은 결정된 안보다 좋은 적합도함수 값을 주는 새로운 안을 작성해 이전안과 비교한다. 이와 같은 과정은 최대의 적합도함수 값을 줄 때까지 반복되며 반복과정은 최적화기법을 통해 최소화된다.

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 의사결

정 모형을 개발하였다. 따라서 최적위치 및 규모선정을 위해 사용되는 적합도 함수는 다음 Eq. (2)와 같이 수립하였다.

$$\begin{aligned} \text{Maximize } B &= \sum_{i=1}^n x_i & (2) \\ \text{subject to } &V_j \leq V_j^{\max} \quad \text{for } j=1, \dots, m \end{aligned}$$

Eq. (2)에서, x_i 는 유역내 중요지점 홍수저감량 (ΔQ_{peak}), n 은 중요지점의 수, m 은 설치예정 천변저류지 수, V_j 는 후보천변저류지 용량, V_j^{\max} 는 후보천변저류지 최대용량을 의미한다. 각각의 천변저류지로 유입되는 수문곡선이 계산되므로 천변저류지로의 시간별 유입량 계산이 가능하며 제약식인 $V_j \leq V_j^{\max}$ 의 경우, 천변저류지로의 유입홍수량이 저류지 최대용량을 초과할 경우 더 이상의 유량분담이 불가능한 것을 의미한다. 유역내 중요지점의 홍수저감량인 x_i 의 경우 유역출구만을 적용할 수도 있으며, 유역내 홍수저감효과를 필요로 하는 다수의 중요지점으로도 적용할 수 있다. x_{outlet} 을 유역출구에서의 홍수저감량이라 할 때, 유역출구만을 중요지점으로 적용할 경우 적합도함수는 다음 Eq. (3)과 같이 수립된다.

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

2.4 의사결정모형의 개발

Fig. 3은 개발된 의사결정모형의 기본구조를 나타내고 있다. 의사결정모형은 1개의 주모듈과 최적화모듈, 입출력컨트롤모듈, 적합도산정모듈 및 통합D/B컨트롤모듈과 같은 4개의 부모모듈로 구성된다. 주모듈은 4개의 부모모듈을 운영하고 관리하는 모듈이며, 입출력 컨트롤모듈은 관련된 입력자료와 결과를 관리하는 모듈이다. 최적화모듈은 최적해를 결정하기 위한 반복과정을 최소화하기 위한 모듈로 본 연구에서는 많은 공학 분야에서 사용되고 있는 유전자알고리즘 (Holland, 1975)을 이용하여 최적화모듈을 개발하였다. 대상유역이 큰 경우, 소유역 유출수문곡선을 비롯한 관련된 데이터가 증가할 것이며, 이들 데이터의 효율적인 관리를 위해 통합D/B 컨트롤모듈을 추가하였다. 적합도 산정모듈은 본 연구에서 최적의 천변저류지 위치를 결정하기 위해 고려한 홍수저감량을 산정하는 모듈이며, 추후 피해감소액이나 기타이익의 산정이 가능할 경우 이를 추가할 수 있도록 모형을 개발하였다. 의사결정모형을 구성하는 주모듈과

부모들은 사용자의 편의를 위해 Visual Basic 6.0을 이용하여 GUI를 구현하였다.

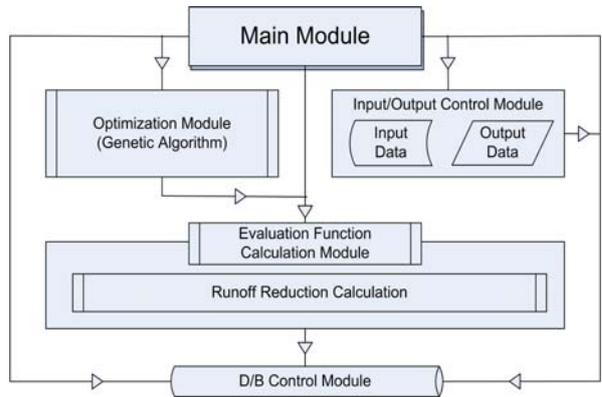


Fig. 3. Structure of Decision Making Model

3. 적용 및 결과

3.1 대상유역 및 천변저류지 후보지 현황

본 연구에서는 개발한 의사결정모형의 적용성을 검토하기 위해 Fig. 4와 같은 안성천 유역에 개발된 모형을 적용하였다. 안성천 유역의 면적은 $1,658 \text{ km}^2$ 이며 하천의 총 연장은 605 km (103개 하천)이다. 유역현황과 홍수량 산정을 위한 경우자료는 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.

3.2 천변저류지 후보지 현황

“안성천수계 유역종합치수계획(건설교통부, 2007)”에서는 홍수조절용 저류지 설치를 통한 홍수량 저감 방안을 검토하기 위하여 Fig. 4에 나타난 것과 같이 13개 지점에 대한 천변저류지 설치를 검토하였다. 천변저류지의 홍수저감량 산정을 위해 HEC-RAS의 부정류 해석 기능과 Eq. (1)과 같은 weir공식을 적용된 Storage Area 기능을 적용하였다. 본 연구에서는 “안성천수계 유역종합치수계획(건설교통부, 2007)”에서 결정한 13개 후보지에 대하여 개발된 의사결정모형을 이용한 천변저류지 최적 위치선정을 수행하였다. Table 1에는 “안성천수계 유역종합치수계획(건설교통부, 2007)”에서 검토한 13개 저류지의 제원이 나타나 있다.



Fig. 4. Ansung Basin

본 연구에서는 홍수저감량 산정을 위해 수문학적 접근방법의 사용하였으며, 천변저류지의 홍수조절효과는 Eq. (1)과 같은 weir공식을 적용하였으며 weir의 유출계수는 1.11을 적용하였다. Weir공식을 적용하기 위해서는 수위-유량곡선이 필요하지만, 수문학적 접근방법은 각각의 천변저류지 설치 후보지에 대한 수문곡선 변화는 모의할 수 있으나, 유량변화에 따른 수위변화 모의는 불가능하다. 그러나 대상유역의 각 후보지점에 대

한 수위-유량 관계는 실측된 데이터가 없는 관계로, “안성천수계 유역종합치수계획(건설교통부, 2007)”에서 수행한 HEC-RAS의 부정류 해석결과를 활용하여 각 후보지점의 수위-유량 관계를 결정하였다. 즉, HEC-RAS를 이용하여 부정류 해석을 실시할 경우, 특정지점의 유량변화에 따른 수위변화를 모의할 수 있으며, 부정류 해석 결과를 바탕으로 13개 천변저류지에 대한 수위-유량 관계를 획득하였다. Fig. 5는 획득된 마두저류지(W13)와 평균저류지(W1)의 수위-유량 관계곡선을 나타내고 있다.

Table 2에는 HEC-RAS의 부정류 해석 결과를 바탕으로 13개 천변저류지에 대해 획득한 수위-유량 관계곡선식과 “안성천수계 유역종합치수계획(건설교통부, 2007)”에서 HEC-RAS의 부정류 해석 기능과 Storage Area 기능을 적용하여 산정된 저류지별 직하류부 홍수조절량과 본 연구에서 수문학적 접근방법을 이용하여 산정한 저류지별 직하류부 홍수조절량을 비교해 나타내었으며, Fig. 6에는 13개의 저류지 중 문곡저류지(W10)와 마두저류지(W13)의 천변저류지 설치 전후의 유출수문곡선을 비교해 나타내었다.

Table 2에 나타난 결과를 비교해 보면 산정된 홍수조절량에 약간의 차이를 보이고 있으며, 특히 평균저류지(W1)의 경우 “안성천수계 유역종합치수계획(건설교통부, 2007)”에서는 $27m^3/sec$ 의 홍수조절효과가 있는 것으로 나타났으나, 금회 적용한 수문학적 해석방법에서는 단독운영시에 홍수조절효과가 전혀 없는 것으로 나타났다. 이는 수리학적 해석방법과 수문학적 해석방법에서 적용하는 기본가정의 차이에서 발생하는 것으로

Table 1. Characteristics of Washland in Ansung Basin

Washland ID	Name of Washland	Location	Area (km^2)	Max. Storage Capacity (m^3)	Top El. of Weir (m)	Width of Weir (m)
W1	Pyungkoong	Ansung River	0.21	575,000	6.50	30
W2	Shinka	Ansung River	1.64	2,784,000	7.60	75
W3	Joongbok	Ansung River	2.06	3,543,000	8.50	75
W4	Yangryung	Ansung River	0.77	1,362,000	10.49	100
W5	Keonchun	Ansung River	0.99	1,060,000	12.70	75
W6	Shinkyu	Ansung River	0.67	297,000	14.30	100
W7	Doongchung	Jinwe River	1.02	4,151,000	5.50	50
W8	Bekbong	Jinwe River	0.56	2,240,000	5.50	30
W9	Uhyeon	Jinwe River	1.05	4,662,000	6.00	70
W10	Moankok	Jinwe River	1.56	7,909,000	7.00	200
W11	Hoihwa	Jinwe River	1.47	3,293,000	9.00	70
W12	Shinri	Jinwe River	1.30	2,015,000	13.60	70
W13	Madoo	Hwangkuji River	2.20	8,976,000	7.70	70

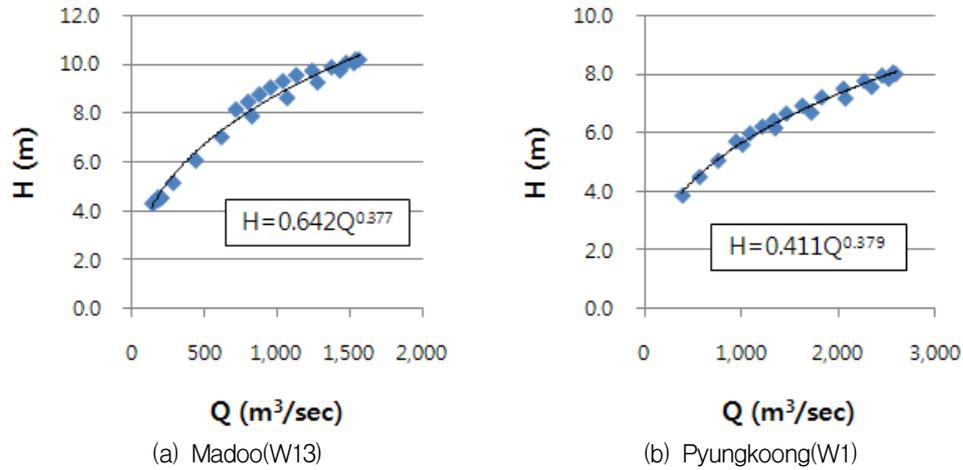


Fig. 5. Rating Curves of Washland

Table 2. Comparison of Flood Reduction Capacities (MOCT vs. This Study)

Washland ID	Name of Washland	Max. Storage Capacity (m^3)	Flood Reduction Capacity (m^3/sec)		Rating Curve applied
			Korean MOCT (2007)	This Study	
W1	Pyungkoong	575,000	27	0	$H = 0.411 \times Q^{0.379}$
W2	Shinka	2,784,000	113	112	$H = 1.605 \times Q^{0.222}$
W3	Joongbok	3,543,000	185	168	$H = 2.487 \times Q^{0.183}$
W4	Yangryung	1,362,000	101	83	$H = 3.825 \times Q^{0.145}$
W5	Keonchun	1,060,000	61	64	$H = 6.047 \times Q^{0.109}$
W6	Shinkyee	297,000	15	8	$H = 6.613 \times Q^{0.106}$
W7	Doongchung	4,151,000	222	211	$H = 0.133 \times Q^{0.496}$
W8	Bekbong	2,240,000	121	117	$H = 0.151 \times Q^{0.481}$
W9	Uhyeon	4,662,000	205	201	$H = 0.203 \times Q^{0.449}$
W10	Moonkok	7,909,000	258	254	$H = 0.284 \times Q^{0.415}$
W11	Hoihwa	3,293,000	93	84	$H = 1.439 \times Q^{0.254}$
W12	Shinri	2,015,000	7	16	$H = 8.321 \times Q^{0.074}$
W13	Madoo	8,976,000	245	351	$H = 0.642 \times Q^{0.377}$

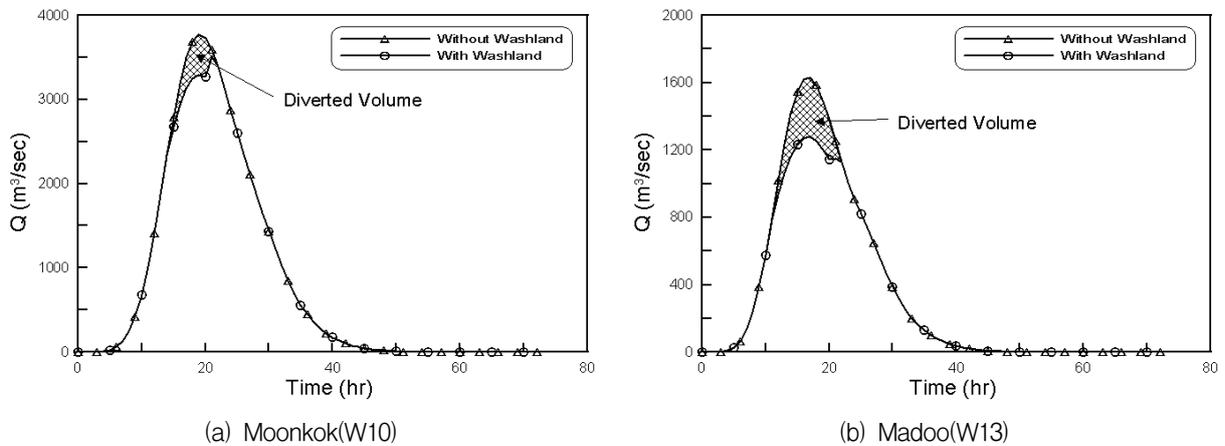


Fig. 6. Comparison of Hydrographs (With and without Washland)

판단된다. 각각 해석방법은 장단점이 있으나, 일반적으로 HEC-RAS의 부정류 해석의 경우 수문모형에서 산정한 유역하류의 유출수문곡선을 구간 상류의 유입수문곡선으로 입력하므로 실제 홍수량보다 다소 높은 수문량을 나타내는 경향이 있다. 따라서 수리학적 해석방법과 수문학적 해석방법에 의한 특정 지점의 수문곡선은 차이가 발생할 수 있다.

또한 Fig. 6에 나타난 것과 같이 마두저류지(W13)의 경우 천변저류지 용량이 충분하여 침두홍수이후에 유입되는 홍수량도 충분히 저감시키지만, 문곡저류지(W10)의 경우 천변저류지 용량이 부족하여 침두 발생이후 유입되는 홍수량의 일부만 저감시키게 되어 실제 홍수저감효과는 실제 침두유량이 발생한 시간의 홍수저감 효과보다 작게 산정된다. 따라서 Table 1에 나타난 문곡저류지(W10)의 월류고인 7.0m보다 높게 월류부를 설치할 때, 문곡저류지(W10)의 홍수저감효과를 최대로 활용할 수 있을 것이다. 그러나 본 논문에서는 월류고 값은 “안성천수계 유역종합치수계획(건설교통부, 2007)”에서 선정한 값을 사용하고, 설계 홍수량에 따라 홍수저감효과를 최대화하는 월류고 값을 결정하는 것은 추후 연구를 계속할 계획이다. 한편 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 최적

의 위치 선정을 위해, 토지이용현황, 과거 침수피해현황 등을 고려하여 Fig. 4에 나타난 것과 같이 안성천 상류(홍수저감목표지점1), 안성천중류(홍수저감목표지점2), 진위천(홍수저감목표지점3) 및 진위천 합류후(홍수저감목표지점4)의 4개 지점에 홍수저감목표지점(Target Point)을 선정하였다. 선정된 홍수저감목표지점의 개념은 유역내 도시지역, 상습침수구역 등 홍수저감을 목표로 하는 지점으로, 본 연구에서 제안한 의사결정모형은 유역출구에서의 홍수저감효과뿐만 아니라 유역내 다양한 홍수저감 목표지점을 선정하여, 선정된 목표지점의 홍수저감을 최대로 하는 천변저류지의 규모와 위치를 선정할 수 있는 장점이 있다. Table 3에는 유역에 설치하는 천변저류지의 수를 1~13개까지 고려할 때, 선정된 4개의 홍수저감목표지점에서의 홍수저감량의 합이 최대가 되는 천변저류지 위치 선정 결과가 나타나 있다. 또한 본 연구에서 사용한 홍수저감목표지점에서의 홍수저감량 합을 적합도함수로 사용한 경우와 Eq. (3)과 같이 유역출구에서의 홍수저감량을 적합도함수로 사용하는 경우를 비교하기 위해 Eq. (3)을 적합도함수로 사용한 경우 천변저류지 위치 선정 결과를 Table 4에 나타내었다.

Table 3에 나타난 결과를 살펴보면, 안성천 유역에 천변저류지를 1개 설치할 경우 Table 1에 나타난 것과 같이 저류지 직하류부 홍수조절량이 351m³/sec로 최대인 마두저류지(W13)에 설치하는 것이, 2개를 설치하는 경우 직하류부 홍수조절량이 최대인 마두저류지(W13)와 두 번째로 큰 문곡저류지(W10)에 설치하는 것이 홍수저감목표지점에서의 홍수저감량 합이 최대가 되는 조

Table 3. Optimal Location of Washland (Evaluation Function : Eq. (2))

No. of Washland	Seclected Washland	Flood Reduction at Target Points(m ³ /sec)					Flood Reduction at Outlet (m ³ /sec)
		Target Point 1	Target Point 2	Target Point 3	Target Point 4	Sum*	
1	W13	0	0	322	307	628	265
2	W10,W13	0	0	662	451	1,113	405
3	W3,W10,W13	167	164	662	544	1,538	505
4	W2,W3,W10,W13	257	253	662	631	1,802	586
5	W2,W3,W4,W10,W13	316	309	662	659	1,947	626
6	W2,W3,W4,W9,W10,W13	316	309	662	770	2,057	719
7	W2,W3,W4,W5,W9,W10,W13	354	346	662	810	2,172	756
8	W2,W3,W4,W5,W7,W9,W10,W13	354	346	662	888	2,251	824
9	W2,W3,W4,W5,W7,W9,W10,W11,W13	354	346	709	898	2,307	831
10	W1,W2,W3,W4,W5,W7,W9,W10,W11,W13	354	385	709	900	2,348	844
11	W1,W2,W3,W4,W5,W7,W8,W9,W10,W11,W13	354	385	709	941	2,389	876
12	W1,W2,W3,W4,W5,W6,W7,W8,W9,W10,W11,W13	356	387	709	947	2,399	881
13	W1,W2,W3,W4,W5,W6,W7,W8,W9,W10,W11,W12,W13	356	387	715	947	2,405	881

* Sum* : Summation of Flood Reductions of 4 Target Points (Evaluation Function Value)

Table 4. Optimal Location of Washland (Evaluation Function : Eq. (3))

No. of Washland	Seclected Washland	Flood Reduction at Target Points (m^3/sec)				Sum*	Flood Reduction at Outlet (m^3/sec)
		Target Point 1	Target Point 2	Target Point 3	Target Point 4		
1	W13	0	0	322	307	628	265
2	W10,W13	0	0	662	451	1,113	405
3	W3,W10,W13	167	164	662	544	1,538	505
4	W3,W9,W10,W13	167	164	662	635	1,629	592
5	W2,W3,W9,W10,W13	256	253	662	722	1,893	678
6	W2,W3,W7,W9,W10,W13	256	253	662	795	1,966	733
7	W2,W3,W4,W7,W9,W10,W13	315	309	662	843	2,130	784
8	W2,W3,W4,W5,W7,W9,W10,W13	354	346	662	888	2,251	824
9	W2,W3,W4,W5,W7,W8,W9,W10,W13	354	346	662	930	2,292	856
10	W1,W2,W3,W4,W5,W7,W8,W9,W10,W13	354	385	662	932	2,333	869
11	W1,W2,W3,W4,W5,W7,W8,W9,W10,W11,W13	354	385	709	941	2,389	876
12	W1,W2,W3,W4,W5,W6,W7,W8,W9,W10,W11,W13	356	387	709	947	2,399	881
13	W1,W2,W3,W4,W5,W6,W7,W8,W9,W10,W11,W12,W13	356	387	715	947	2,405	881

* Sum* : Summation of Flood Reductions of 4 Target Points (Evaluation Function Value)

함으로 선정되었다. 또한 신리(W12)와 신계저류지(W6)의 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 중복, 문곡 및 마두저류지(W3, W10, W13)에 설치하도록 선정되었다. 실제 천변저류지 직하류부 홍수조절량이 세 번째로 큰 저류지는 $211m^3/sec$ 이 조절 가능한 동청 저류지(W7)이지만, 직하류부 홍수조절량이 $168 m^3/sec$ 로 13개의 대상 후보지 중 다섯 번째인 중복저류지(W3)가 홍수저감목표지점들에 대한 홍수조절효과에 보다 많은 영향을 줄 수 있어, 이와 같은 결과가 나타난 것으로 판단된다. 즉 대상유역에 위치한 홍수저감목표지점에 대한 홍수조절효과는 개별 천변저류지의 홍수조절량은 물론, 홍수저감목표지점과의 위치를 고려하여 선정되는 적절한 조합에 의해 영향을 받는 것을 알 수 있다.

한편 유역출구에서의 홍수저감량을 적합도 함수로 적용하여 최적위치를 산정한 Table 4의 결과를 살펴보면, 홍수저감목표지점에서의 홍수저감량의 합을 적합도 함수로 적용한 Table 3의 결과와 차이를 나타내고 있다. 천변저류지 설치 수가 4개, 5개, 6개, 7개, 9개 및 10개 경우 천변저류지의 최적위치가 다르게 산정되었다. 예를 들어, 유역에 천변저류지를 4개소에 설치하는 경우, 신가, 중복, 문곡 및 마두(W2, W3, W10, W13) 지점에 천변저류지를 설치할 때 4개의 홍수저감목표지점에서의 홍수저감량이 $1,802m^3/sec$ 로 최대가 되지만, 유역출구

에서의 홍수저감량은 $586m^3/sec$ 로 중복, 어연, 문곡 및 마두지점(W3, W9, W10, W13)에 설치할 경우의 $592 m^3/sec$ 보다 작게 산정된다. 반면에 중복, 어연, 문곡 및 마두지점(W3, W9, W10, W13)에 천변저류지를 설치할 경우, 4개 홍수저감목표지점의 홍수저감량 합은 $1,629 m^3/sec$ 로 신가, 중복, 문곡 및 마두지점(W2, W3, W10, W13)에 설치하는 경우의 $1,802m^3/sec$ 보다 작게 산정된다. 즉 홍수저감이 필요한 대상지점의 선정에 따라 천변저류지의 최적위치는 다르게 산정되며, 유역에 다수 설치가 가능한 천변저류지를 계획할 경우, 홍수저감이 필요한 중요지점의 선정이 중요한 것을 알 수 있다. Fig. 7은 Table 3에서 선정된 천변저류지 위치에 따라, 4개 홍수저감목표지점과 유역출구에서의 천변저류지 설치 수 변화에 따른 유출수문곡선을 나타내고 있다.

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 필요하다. 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 기본으로 경제성, 습지와 농지 등으로의 활용으로 인한 가치 등과 같은 많은 사항을 고려해야 할 것이다. 실제 “안성천수계 유역종합치수계획(건설교통

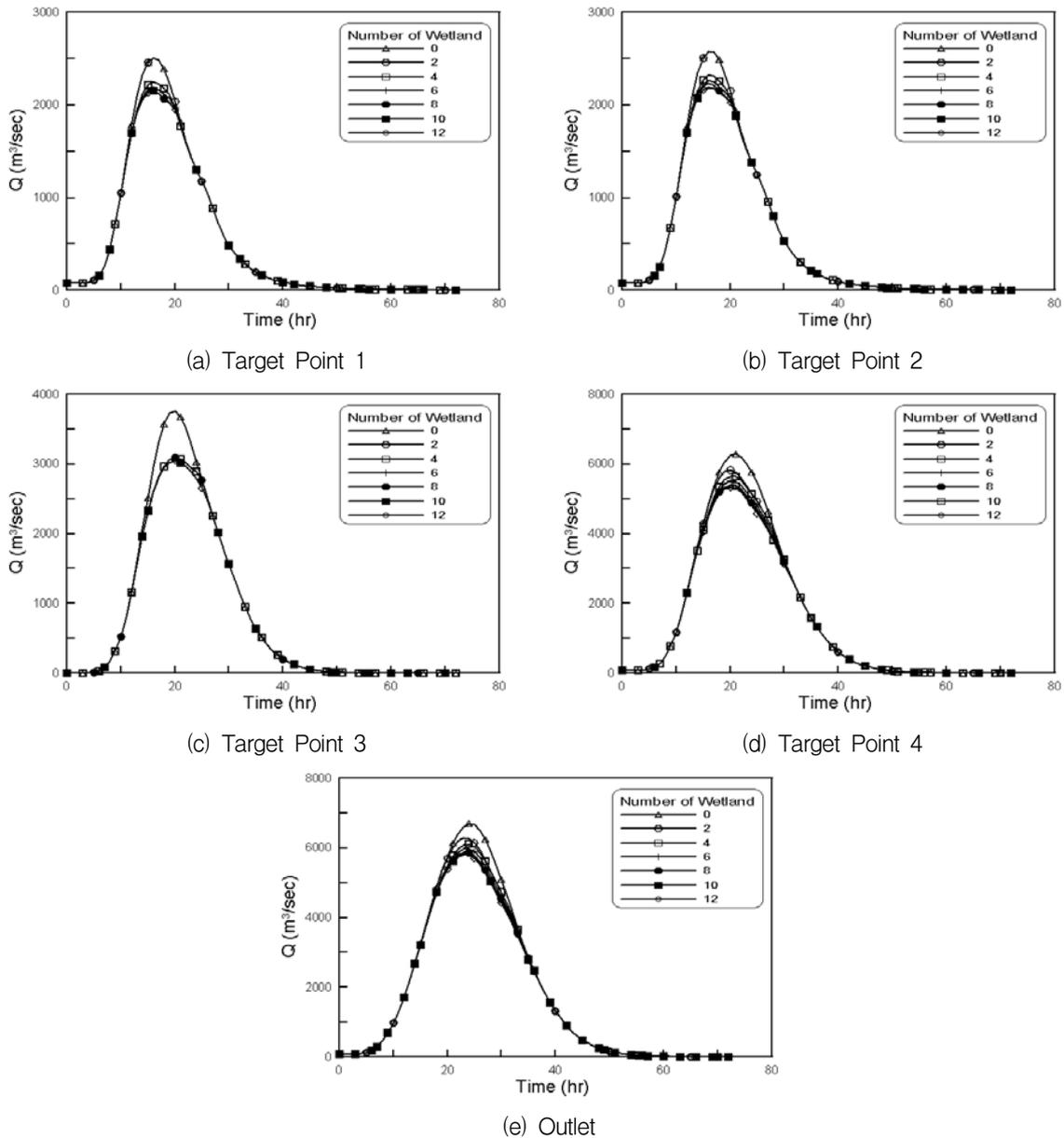


Fig. 7. Hydrographs at Target Points and Outlet

부, 2007)”에서도 홍수조절효과와 함께 사업성을 감안하여 신가, 건천, 문곡 및 백봉 저류지를 설치지구로 선정하였다. 그러나 홍수조절효과 이외의 사항 들은 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.

4. 결 론

- 1) 천변저류지의 홍수조절효과 분석을 위해 기존의 연구에서는 HEC-RAS 부정류 해석과 같은 수리학적 접근모형을 사용하였다. 그러나 규모가 작은 천변

저류지의 경우에 설치가 가능한 대상후보지가 다수 존재하여 고려해야 할 경우의 수 매우 크며, 장시간의 모의시간을 필요로 하는 부정류해석으로는 모든 경우 수를 분석하는 데에 한계가 있을 수 있다. 따라서 본 연구에서는 수문학적 접근방법을 이용하여 천변저류지의 홍수조절효과를 산정하였다.

- 2) 유역내 가능후보지가 많은 천변저류지의 경우, 효율적인 계획과 예산 활용을 위한 의사결정시스템이 필요하다. 이를 위해 홍수저감효과는 기본으로 경제성, 습지와 농지 등으로의 활용으로 인한 가치, 침수피해액 감소, 공사예산 등과 같은 많은 사항을 고려해야 하지만, 홍수조절효과 이외의 사항 들은 정량적 평가가 어려워 천변저류지 계획에 반

영이 쉽지 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 수문학적 홍수조절효과 산정방법과 최적화 기법인 유전자알고리즘을 이용하여 다양한 경우에 대한 홍수조절효과를 효율적으로 산정하기 위한 의사결정모형을 개발하였다.

- 3) 개발된 모형을 안성천수계에 적용하여 모형의 적용성을 검토하였다. 토지이용현황, 과거 침수피해현황 등을 고려하여 안성천 유역내 홍수저감목표지점을 4개 선정하였으며, 선정된 4개지점의 홍수저감량과 유역출구에서의 홍수저감량을 적합도 함수로 설정하여 최적의 천변저류지 위치를 결정하였다. 본 연구에서 선정한 홍수저감목표지점의 개념은 유역내 도시지역, 상습침수구역 등 홍수저감 목표지점이라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서 제안한 의사결정모형은 유역출구에서의 홍수저감효과뿐만 아니라 유역내 다양한 홍수저감 목표지점을 선정하여, 선정된 목표지점의 홍수저감을 최대로 하는 천변저류지의 규모와 위치를 선정할 수 있는 장점이 있다.
- 4) 유역내 특정지점의 홍수저감을 위해 설치되는 일반적인 저류지와 달리, 다수를 설치하여 유역의 전반적인 홍수조절이 가능한 천변저류지를 계획할 경우, 유역 전반에 걸친 실질적인 홍수저감효과 산정이 필요하며, 개발된 모형은 천변저류지 계획 수립을 위한 의사결정모형으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

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

참고 문헌

- 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.
- 김덕길, 경민수, 김상단, 김형수 (2007). “천변저류지 조성에 따른 홍수위저감효과 분석.” **2007 대한토목학회 학술발표회 논문집**, 대한토목학회, pp. 2660-2663.

- 김형수, 경민수, 김상단, 이건행 (2006). “천변저류지 조성 및 활용방안.” **2006 한국수자원학회 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 83-88.
- 박창근, 박재현, 이종진 (2007). “천변저류지를 활용한 화포천 유역에서의 홍수조절능력에 관한 연구.” **2007 한국수자원학회 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 331-335.
- 안태진, 김경섭, 강인웅, 김복천 (2007a). “천변저류지 조성계획에서 수문 및 수리적운영에 관한 고찰.” **2007 한국수자원학회 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 956-960.
- 안태진, 강인웅, 김복천, 백천우 (2007b). “천변저류지 최적 규모 및 위치 선정을 위한 의사결정모형의 기본알고리즘 제안.” **2007 대한토목학회 학술발표회 논문집**, 대한토목학회, pp. 3371-3375.
- 전경수, 김원, 윤병만 (2006). “천변저류지 홍수조절 효과의 불확실성 분석.” **2006 대한토목학회 학술발표회 논문집**, 대한토목학회, pp. 267-270.
- 한건연, 김지성, 백진규, 박홍성 (2005). “하천에서 천변저류지의 홍수저감효과 분석.” **2005 대한토목학회 학술발표회 논문집**, 대한토목학회, pp. 233-236.
- 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.
- England Naure (2004) *Integrated Washland management for Flood Defence and Biodiversity*. Research No. 598.
- Finney, C. (1988). *The economic value of wildfowling on the hundred foot washes*. Report prepared for Anglian Water.
- Hammer (1989). *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*, Lewis Publishers, Chelsea, MI, USA.
- Holland, J. H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, University of Michigan Press, Ann Arbor, Mich., USA.
- Kadlec, R. H. and Knight, R. L. (1986). *Treatment Wetlands*, CRC, Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA.
- Kusler, J. A. and Kentula, H. E. (1996). *Wetland Restoration and Creation: The Status of the Science*, Island Press, Washington, DC, USA.

(논문번호:08-50/접수:2008.04.10/심사완료:2008.05.27)