

천변저류지의 최적규모 및 위치선정을 위한 예비검토

Optimal Size and Location of Washland

김환석*, 박민규**, 박기정***, 유철상****, 윤재영*****

Hwan Seok Kim, Minkyu Park, Gi jung Pak, Chulsang Yoo, Jae Young Yoon

요 지

천변저류지는 침수시 피해가 큰 도시지역을 보호하기 위하여 도시구간의 상류 특정구간을 저류공간으로 이용하여 홍수를 조절하는 방법이다. 천변저류지는 하도흐름에 직접적인 영향을 미치지 않기 때문에 주어진 규모 대비 침투홍수량 조절효과가 다른 홍수방어대책에 비해 크다고 알려져 있어 유역종합치수계획이나 풍수해저감종합계획 등에서 상당히 자주 주요 검토대상이 되고 있다. 이와 관련하여 GIS를 이용한 천변저류지의 가용입지를 조사하는 방법론 등은 상당한 진보를 이루었으나 이렇게 조사된 다양한 입지들 중에서 특정 보호대상 도시를 기준으로 가장 홍수조절 효과가 크고 경제성이 높은 입지를 판단하는 것은 다양한 수문조건과 이에 대한 정밀한 모의가 필요하므로 상당히 어려운 문제가 된다. 이때 천변저류지의 입지가 보여주는 위치와 규모를 이용하여 개략적으로 홍수조절 효과를 미리 판단할 수 있다면 상위계획단계에서 우선순위 등을 검토할 경우의 개략적인 해석수단으로 유용하게 쓰일 수 있다. 본 연구에서는 SWMM 모형을 이용해 홍수유출 및 하천수리 해석을 연계하여 수행하는 방법론을 통해 천변저류지의 홍수조절효과를 모형화하였다. 이때, 다양한 조건에서의 천변저류지의 위치 및 용량에 따른 홍수조절효과를 모의함으로써 주어진 입지에 따른 최적 홍수방어계획을 수립할 수 있는 기준을 도출할 수 있었다.

핵심용어 : 천변저류지, 최적 규모 및 위치, 홍수조절 효과, SWMM

1. 서 론

우리나라는 반복되는 수해로 거의 매년 큰 피해를 입고 있다. 또한 최근에는 이상기후로 인해 시간최대 또는 일최대강수량 기록이 경신되면서 하천 및 주요 시설의 설계 당시 재현기간에 의한 계획홍수량이 더 이상 의미가 없어지는 경우가 자주 발생한다. 이런 경우 유역내 발생하는 홍수를 하도나 유역출구의 우수지 등으로만 처리하는 기존의 홍수저감 방식은 한계를 보일 수 밖에 없다. 국내에는 증소하천 수계의 하류부에 시가지 구간이 발달한 경우가 많으며 이들 구간의 이상홍수에 대한 방어를 위해 다양한 홍수저감시설의 설치 필요성이 강조되고 있다(김지태 등, 2006). 이러한 저감시설로 논의되는 홍수조절지, 천변저류지, 방수로, 지하저류지 등에서 단위면적당 홍수조절 효과가 가장 높고, 설치가능 대상입지 확보가능성이 가장 많으며, 환경적인 측면에서 양호한 대안으로 관심을 받고 있는 것이 천변저류지이다. 천변저류지의 정의는 다양하게 소개되고 있으나 “천변저류지 기본계획 수립에 관한 연구”(건설교통부, 2005)에서는 홍수조절의 관점에서 “하천변의 홍수터로써 홍수조절을 주목적으로 하고 일정한 수표면을 유지하거나 토양이 항상 또는 일정기간

* 정회원 · 고려대학교 환경시스템공학과 석사과정 · E-mail : tinymons@korea.ac.kr
** 정회원 · 고려대학교 건축·사회환경시스템 공학과 박사수료 · E-mail : mkhojin@korea.ac.kr
*** 정회원 · 고려대학교 환경시스템공학과 박사과정 · E-mail : gjpak00@hanmail.net
**** 정회원 · 고려대학교 건축·사회환경시스템 공학과 정교수 · E-mail : envchul@korea.ac.kr
***** 정회원 · 교신저자 · 고려대학교 환경시스템공학과 부교수 · E-mail : jyoon@korea.ac.kr

동안 포화되는 저류지”, 비홍수기시 습지의 관점에서 “저류지내 물의 순환관계를 유지시켜주고, 수량 및 수질 조절기능을 수행하며, 생태계의 다양성을 위해 서식처를 제공하는 하천변 홍수터 습지”로 정의하고 있다. 이러한 천변저류지와 관련된 가장 큰 문제점은 계획 기법이 명확히 정립되어있지 않고 국내 하천 및 지형조건에서의 설계 사례가 아직 부족하다는 점이다.

기존의 천변저류지와 관련된 연구를 살펴보면 한건연 등(2005), 전경수 등(2006)은 수리학적 접근방법으로 천변저류지의 홍수조절 효과를 분석하였다. 안태진 등(2008)은 수문학적 홍수모의 및 최적화 기법에 따라 천변저류지 최적 위치 및 규모 결정을 위한 알고리즘을 제시하였다. 수리학적 해석기법을 이용하는 경우는 특정 천변저류지의 제원이 주어진 경우에는 홍수조절효과를 비교적 정확하게 모의할 수 있으나 미지의 다수 천변저류지를 대상으로 홍수조절계획수립에 활용되기에는 어렵다. 수문학적 홍수유출계산에만 의존하는 천변저류지의 위치 및 용량 검토는 천변저류지 효과에 가장 큰 영향을 미치는 횡월류량 산정과 관련하여 불확실성이 높은 단점을 가지고, 실제 이러한 문제로 실무에서는 홍수유출해석과 하천수리해석을 각각 HEC-HMS와 HEC-RAS로 나누어 시행착오적으로 피드백시키면서 수행하는 경우도 있다.

본 연구에서는 SWMM 모형을 이용해 홍수유출 및 하천수리해석을 동시에 연계하여 수행하는 방법론을 통해 천변저류지의 홍수조절효과를 모의하였다. 그리고 이러한 모형화 방법론을 기초로 다양한 위치 및 용량에서의 천변저류지의 홍수조절효과를 검토하여 하류에 위치한 특정 도시지역을 보호하고자 하는 목적으로 중상류의 홍수분담시설로서 다수의 천변저류지를 계획하는 경우에 최적 계획수립을 위한 기준을 제시하였다.

2. 기본이론

2.1 홍수저감효과 산정

천변저류지는 하나의 대상구역에서 설치 가능한 후보지가 다수 존재하고 동일 후보지에서도 설치규모를 상황에 따라 다양하게 설치할 수 있다. 따라서 특정 구역의 홍수방어계획으로서 다수의 천변저류지를 후보로 하면 검토대상이 너무 많기 때문에 수문해석과 수리해석을 별도로 하는 것은 제약점이 많을 수 밖에 없다. 반면 단순히 단순히 수문학적 해석에만 의존할 경우 천변저류지의 홍수조절효과의 불확실성이 커지게 된다. 이는 동일 위치, 동일 용량에서도 횡월류시설의 계획규모에 따라 하천 수리특성이 변화하고 하류 홍수조절효과가 큰 차이를 보이게 되기 때문이다. 따라서, 천변저류지의 최적 위치 및 규모를 검토하여 계획할 경우 수문학적 해석과 더불어 수리학적 해석을 반드시 병행하여야 한다.

본 연구에서는 SWMM을 이용하여 대상유역을 분할하여 유출해석을 실시하고, 천변저류지 설치 가능지역의 일정 면적을 저류지로 모형화하여 홍수저감효과를 모의하였다. 이때 천변저류지의 유입부에 위치한 하천흐름특성과 횡월류 위어와의 관계에 대한 부정류 수리해석은 Dynamic Wave 홍수추적에 의해 수행하였다.

2.2 SWMM을 이용한 천변저류지의 모형화

천변저류지는 하천변에 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. SWMM를 이용하여 천변저류지를 모형화하기 위해 설치지점 Node에서 일정표고 이상의 수위가 발생하였을 경우 횡월류가 발생하도록 모의하고, 천변저류지의 용량은 Storage 모듈을 이용하여 구현하였다. 유출부에는 Trap gate를 설

치하여 대상 홍수가 지나간 다음 유출이 이루어 지도록 하였다. Link에서의 수리는 일차원 점변류 방정식을 차분화한 식 (1)을 이용하는데 이때 미지의 값은 $Q_{t+\Delta t}$ 와 H_1, H_2 로, 변수 $\bar{V}, \bar{R}, \bar{A}$ 는 Q 와 H 의 함수로 구성된다. 그러므로 이 방정식을 풀이기 위해서는 Q 와 H 에 대한 방정식이 하나 더 필요하며, 이를 위해 식 (2)와 같이 NODE에서의 연속방정식을 차분화한 식이 사용된다.

$$Q_{t+\Delta t} = \frac{1}{1 + \frac{k\Delta t}{R^{4/3}}|V|} [Q_t + 2\bar{V} \left[\frac{\Delta A}{\Delta t} \right]_t \Delta t + \bar{V}^2 \frac{A_2 - A_1}{L} \Delta t - g\bar{A} \frac{H_2 - H_1}{L} \Delta t] \quad (1)$$

$$H_{t+\Delta t} = H_t + \frac{\sum Q \Delta t}{A_s} \quad (2)$$

여기서 $\bar{V}, \bar{R}, \bar{A}$ 는 시간 t 에서 LINK 양단에서의 평균값이다. A_s 는 NODE에서의 수표면적이다. 각 연산구간 Δt 에서 NODE 수심(H)과 LINK내 유량(Q)을 연산한다. 두 방정식의 수치해 풀이를 위해 수정 Euler방법을 사용한다.

3. 적용 및 결과

3.1 대상유역 및 천변저류지 설치 지점

본 연구에서는 대상유역으로 태풍 루사시에 많은 피해가 발생한 김천 지역의 상류부인 직지사천(그림 1)에 천변저류지를 설치하여 그 효과를 분석하여 보았다. 직지사천은 김천시 봉산면 광천리에서 김천시 모암동 감천합류점까지의 지방하천으로 2003년 9월에 정비기본계획이 수립되었으며 유역면적 128.8km², 하천연장 20.0km으로 수계내 지방하천 백운천과 17개소의 소하천이 합류하고 있다. 하상경사는 하천시점부에서는 1/49 이었다가 하구 합류부에서는 1/638의 경사로 완만해진다. 대상강우는 100년 빈도의 강우를 사용하였으며, 각 설치지점의 월별류 위어는 10년과 50년 빈도의 2가지 경우에 대하여 정부표고를 설계하였다. 천변저류지의 대상 설치 지점으로는 주요 합류지점으로 현재 농경지 등으로 사용중인 중요도가 하류 도시지역보다 낮은 지점 중 설치가 가능한 총 6곳을 선정하여 저감효과를 검토하여 보았다.

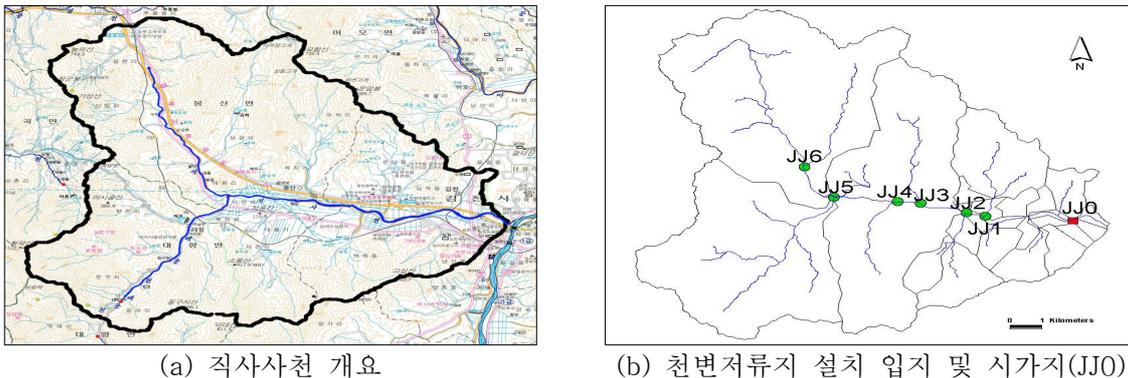


그림 1. 대상유역

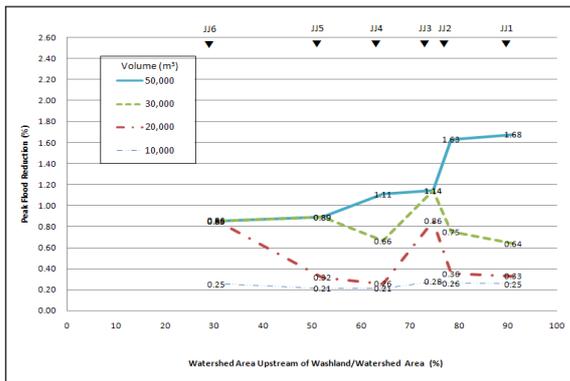
3.2 적용결과

직지사천 유역 6개 천변저류지 후보지에 대한 최적의 위치 선정을 위해 김천시가지를 관측지점으로 하여 천변저류지 침투홍수량 저감효과를 분석하여 보았다. 분석에 사용된 월별류 위어의

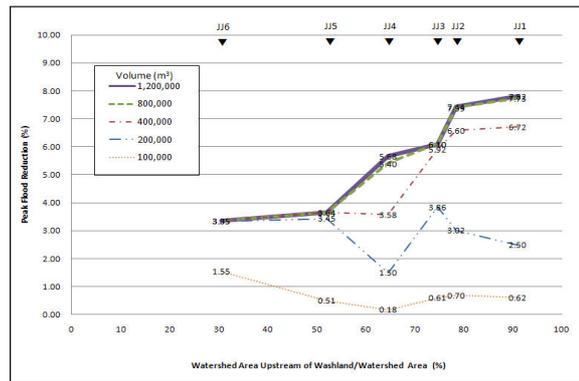
폭은 30m로 고정하였으며, 위어의 표고는 각 지점에서의 고빈도(50년 빈도)와 저빈도(10년 빈도)의 두 가지로 구분하여 계획홍수위를 횡월류위어의 마루고로 설정하여 비교하였었다.

3.2.1 천변저류지 단독 설치시 홍수조절효과 분석

먼저 천변저류지를 하나의 입지에 대해서 설치하는 경우의 최적입지와 용량을 검토하였다. 저류지는 고빈도시 10,000~50,000m³까지 4개의 경우로, 저빈도시 100,000~1,200,000m³까지 5개의 용량을 설정하여 검토하였다. 그림 2는 이때의 저감효과에 대한 그래프를 보여준다. 당연한 결과로 받아들여질 수 있지만 보호대상이 되는 시가지에 가까울 수록 그리고 용량이 클수록 홍수조절효과가 큰 것으로 나타났다. 다만 일정한 용량 이상을 만족하지 못할 경우 홍수조절효과는 위치와 상관없이 거의 일정하거나 또는 경향이 역전될 수 있는 것으로 검토되었다. 이를 통해 살펴보면 다수의 천변저류지 입지가 가능하고 하나의 입지만을 선택해야 할 경우 우선 홍수로부터 보호되어야 할 중요도가 가장 큰 지역을 선정하여 해당 지역에 가까우면서 저류지 용량을 일정한 기준 규모 이상 확보할 수 있는 지점이 확보되어야 한다. 천변저류지의 단독 설치시 유의할 점은 유입 시설인 횡월류시설의 규모 결정에 상응하여 활용가능한 천변저류지 공간의 용적규모가 결정된다는 것이다. 즉, 횡월류시설의 규모가 일정한 크기로 고정되면 천변저류지 공간을 아무리 크게 하더라도 홍수조절에 활용될 수 있는 공간이 제한적이기 때문에 그 이상의 설정은 비경제적일 수 있다.



(a) 50년 빈도 횡월류마루고



(b) 10년빈도 횡월류마루고

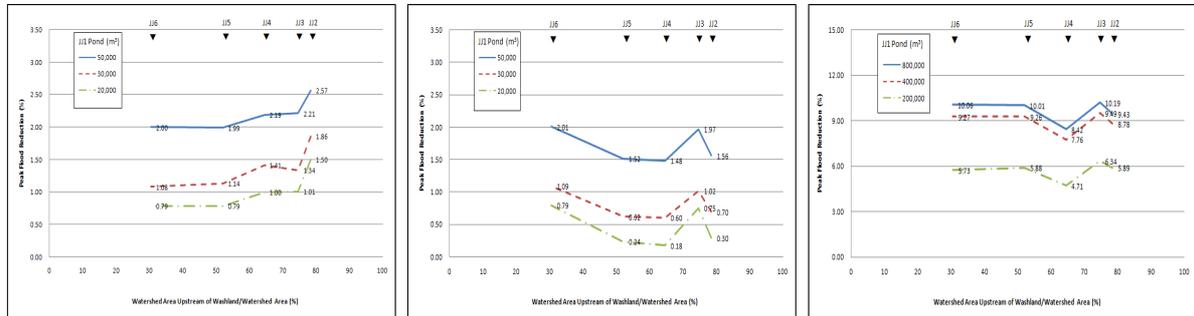
그림 2. 천변저류지의 위치 및 용량에 따른 홍수저감효과

3.2.2 천변저류지의 조합설치시 홍수조절효과 분석

앞서의 검토에서 실제 홍수조절효과를 극대화하는 방안은 하나의 대형 천변저류지를 보호대상구간과 인접하여 설치하는 것이나 물리적인 제약조건이 따를 수 있고 유역내 보호대상 지역이 다수의 지점으로 나누어 있는 경우 등을 대비하여 천변저류지를 조합설치하는 방안의 검토가 필요하다. 이 경우 가장 간단한 경우로 두 개의 천변저류지를 계획한다면 당연히 그 중 한 개소는 보호대상 지역과 인접하고 규모가 충분한 입지가 될 것이다. 따라서 본 절에서는 두 개의 입지 중 하나를 고정하고 이와 조합하여 최적의 홍수조절효과를 보여줄 수 있는 지점을 선정하고 효율을 높일 수 있도록 계획하는 방법을 모색하였다.

아래의 검토결과에 따르면 조합되는 두 개의 천변저류지의 횡월류시설을 동일빈도로 설계할 경우 두 번째 천변저류지의 최적 입지는 천변저류지를 단독설치하는 경우와 마찬가지로 남아있는 입지중 보호대상지역에서 가장 가깝고 용량이 큰 경우가 선정되었다. 그러나 두 개의 천변저류지

의 유입시설의 재현기간을 다르게 저빈도로 설정할 경우 상당히 상류부에 위치한 천변저류지라도 하류측의 천변저류지 못지 않은 저감효과를 보일 수 있는 것으로 나타났다.



(a) 50년빈도 홍월류, 50,000m³ (b) 50년 빈도 홍월류, 20,000m³ (c) 10년 빈도 홍월류, 200,000m³

그림 3. 천변저류지의 조합설치시 홍수조절효과

4. 결론

본 연구에서는 유역내 다수의 천변저류지 입지가 있을 경우 가장 효과적인 홍수방어계획이 수립될 수 있도록 천변저류지의 위치 및 용량에 대한 계획 수립방안을 검토하였다. 이를 위해 홍수 저감효과의 분석시 수문학적 해석과 수리학적 해석을 모두 요하는 천변저류지 계획상의 특성을 고려하여 이의 해석을 SWMM을 이용하여 동시에 수행하는 모형화 방법론을 수립하였다. 또한 이를 통해 다양한 조건에서의 천변저류지의 위치 및 용량에 따른 홍수조절효과를 모의하여 유역내 홍수조절계획수립에 필요한 천변저류지의 최적 조합 방안을 검토하였다.

유역 전체의 홍수 저감효과를 위한 천변저류지를 이용한 분담홍수방안을 고려할 때 여러 천변저류지를 단순히 하류의 특정 보호지점을 기준으로 고려한다면 가장 가까운 두 곳이 되어야 한다. 이때 단독설치 효과검토시와 마찬가지로 일정한 소요용량을 갖추지 못하면 위치적으로 유리한 장점을 살리지 못하게 되는 경우가 많으며, 유역 전체에 걸쳐 고른 효과를 보기 위해서는 상류는 저빈도로 계획하고 하류는 고빈도로 계획하는 것이 바람직한 결과를 줄 것으로 검토되었다.

감 사 의 글

본 연구는 소방방재청 자연재해경감사업단(NEMA-06-NH-03) 중 내배수 침수피해 저감기술 개발 과제의 의해 지원되었습니다. 더불어 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2009년도 지역 기술혁신사업(09지역기술혁신B-01)에 의한 환경친화적 연안역 개발기술연구단에 의해 지원되었으며 관계당국에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 김지태, 권욱, 김영복, 김수전 (2006). “도시유역의 분담저류 방식에 따른 유출저감특성 분석” 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제39권, 제11호, pp. 915-922.
2. 건설교통부 (2005). 천변저류지 기본계획 수립에 관한 연구, 건설교통부.
3. 안태진, 강인웅, 백천우 (2008). “수문학적 홍수저감효과 기반의 천변저류지 최적위치 선정을 위한 의사결정 모형의 개발” 한국수자원학회 논문집, Vol 41, no. 7, pp. 725-735.
4. 전경수, 김원, 윤병만 (2006). “천변저류지 홍수조절 효과의 불확실성 분석.” 2006 대한토목학회 학술발표회 논문집, 대한토목학회, pp. 267-270.
5. 한건연, 김지성, 백진규, 박홍성 (2005). “하천에서 천변저류지의 홍수저감효과 분석.” 2005 대한토목학회 학술발표회 논문집, 대한토목학회, pp. 233-236.