유입수문곡선변화에 따른 천변저류지군의 홍수저감효과 분석

Analysis of Flood Reduction Effect of Washlands based on Variation of Input Hydrograph

백천우*, 김복천**, 변천일***, 안태진****

Chun Woo Baek, Bok Cheon Kim, Chen Il Byeon, Tae Jin Ahn

요 지

최근 들어 홍수조절을 위한 대안으로 검토되기 시작한 천변저류지는 적은 저류용량으로 인해 목표하는 홍수저감효과를 얻기 위해 다수의 천변저류지가 설치되어야 하며, 이들 천변저류지군의 홍수조절효과는 저류지군을 연계한 수문네트워크의 분석에 의해 산정되어야 한다. 특히 천변저류지 등과 같은 소규모 수공구조물은 설계빈도, 저류지 제원 등과 같은 수문학적 및 수리학적 조건에 따라 홍수저감효과가 민감하게 반응한다. 즉 설계빈도 변화에 따른 천변저류지의 홍수조절효과를 분석하고, 이를 바탕으로 목표하는 설계빈도 결정이 선행된 후, 천변저류지의 상세 제원에 대한 설계가 가능할 것이다. 본 연구에서는 설계빈도 변화에 따른 유역의 유입수문곡선변화가 천변저류지군의 홍수저감효과에 미치는 영향을 분석해 보았다. 이를 위해 천변저류지의 최적위치를 결정하기 위해 개발된 기존의 의사결정모형을 안성천 유역에 적용하여 다양한 설계빈도에 따른 천변저류지의 홍수저감효과를 분석해 보았다.

핵심용어 : 천변저류지군, 설계빈도, 홍수저감효과, 의사결정모형

1. 서론

현재 국내에서는 환경, 경제, 정치적 문제 등으로 인해 댐과 같은 대규모 수공구조물의 신설이 점차 어려워지고 있으며, 천변저류지, retention pond 및 detention pond 등과 같은 소규모 수공구조물을 이용한 홍수조절방안이 검토되고 있다. 최근 들어서는 다른 저류시설에 비교할 때 농경지 손실이 적고, 침수취약지역에 설치되어 해당 지역의 침수피해를 경감하고 다른 지역의 침수안전성을 제고할 수 있는 천변저류지의 도입이 유역종합치수계획에서 검토되고 있으며, 건설교통부 (2005), 강수만 등 (2007), 안태진 등 (2008), 백천우 등 (2009)에 의해 천변저류지 설치와 관련된 연구가 진행되었다. 소규모 수공구조물을 이용하여 목표하는 홍수저감효과를 얻기 위해서는 다수의 저류시설군을 연계할 필요가 있으며, 유역전반에 대한 소규모 저류시설군의 홍수조절효과는 저류시설군을 연계한 수문네트워크의 분석에 의해 산정되어야 한다 (Ormsbee et al., 1984 ; Travis and Mays, 2008). 특히 천변저류지와 같은 소규모 수공구조물은 홍수량, 유입수문곡선, 저류지 용량 및 월류부 특성 등에 따라 홍수저감효과가 민감하게 반응하므로 천변저류지의 설계를 위해서는 설계빈도 변화에 따른 천변저류지의 홍수조절효과를 분석하고, 이를 바탕으로 목표하는 설계빈도 결정이 선행되어야 할 것이다.

본 연구에서는 설계빈도 변화에 따른 유역의 유입수문곡선변화가 천변저류지군의 홍수저감효과에 미치는

* 정회원·Research Associate, School of Envir. Systems Eng., Univ. of Western Australia·E-mail :baek@sese.uwa.edu.au
** 정회원·동일기술공사 수자원부·E-mail : 00621004@hanmail.net
*** 정회원·한경대학교 토목공학과 석사과정·E-mail : quscjsgur1@naver.com
**** 정회원·한경대학교 토목공학과 교수·E-mail : ahntj@hknu.ac.kr

영향을 분석해 보았다. 안태진 등 (2008)은 천변저류지의 최적위치를 결정하기 위해 수문학적 홍수저감효과 산정기법과 유전자 알고리즘을 이용한 모형을 개발하였으며, 백천우 등 (2009)은 안태진 등 (2008)의 모형을 보완하여 월류고의 변화를 결정변수로 추가한 모형을 개발하였다. 설계빈도 변화에 따른 천변저류지군의 홍수저감효과를 분석하기 위해 천변저류지의 최적위치를 결정하기 위해 개발된 백천우 등 (2009)의 모형을 안성천 유역에 적용하여 다양한 설계빈도에 따른 천변저류지의 홍수저감효과를 분석해 보았다.

2. 천변저류지 최적위치선정을 위한 모형

백천우 등 (2009)은 월류고 값의 변화가 천변저류지군의 홍수저감효과에 미치는 영향을 분석하기 위해, 천변저류지의 위치를 결정변수로 사용하고 홍수저감목표지점에서의 홍수저감효과를 목적함수로 사용하여 천변저류지의 최적위치를 결정하는 안태진 등 (2008)의 모형을 수정, 보완하였으며, 월류고 값을 결정변수로 추가하여 천변저류지의 최적위치 및 최적월류고를 동시에 산정하는 모형을 개발하였다. 개발된 모형을 안성천 유역에 적용하여 100 년 빈도 홍수사상에 대한 천변저류지의 최적제원을 결정하였으며, 그림 1 은 백천우 등 (2009)의 모형에서 천변저류지의 최적위치 및 최적월류고 산정을 위해 사용한 흐름도를 나타내고 있다.

안태진 등(2008) 및 백천우 등(2009)은 토지이용현황, 과거 침수피해현황 등을 고려하여 유역 내에서 홍수조절효과가 이루어져야 하는 지점을 '홍수저감목표지점 (Target Point)이라 정의하였으며, 천변저류지군의 수문네트워크 분석에 의해 유역출구 및 홍수저감목표지점에서의 홍수 저감량을 산정하여 천변저류지의 규모와 위치 선정을 위한 적합도 함수로 사용하였다. 식 (1) 및 식 (2)는 안태진 등(2008) 및 백천우 등(2009)이 천변저류지의 최적위치 및 규모선정을 위해 사용한 적합도 함수를 나타내고 있다.

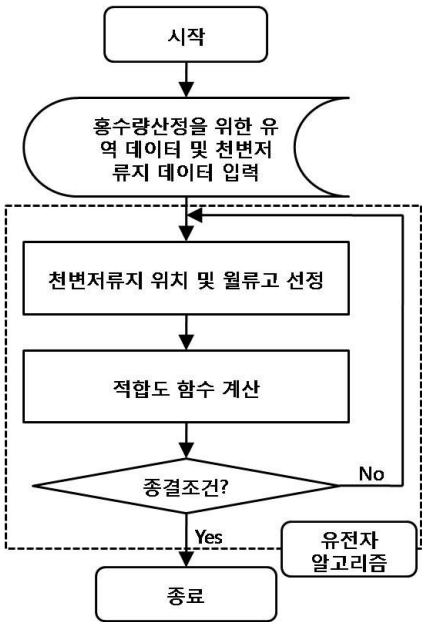

그림 1. 천변저류지 최적위치 결정을 위한 흐름도

$$Maximize \quad B = \sum_{i=1}^{n} x_i \tag{1}$$

$$subject \quad to \qquad V_j \leqq V_j^{\max} \quad \text{for} \quad j = 1, \cdots, m$$

$$Maximize \quad B = x_{outlet} \tag{2}$$

$$subject \quad to \qquad V_j \leqq V_j^{\max} \quad \text{for} \quad j = 1, \cdots, m$$

여기서, x_i 는 유역 내 홍수저감목표지점 홍수 저감량(ΔQ_{peak}), x_{outlet}은 유역출구에서의 홍수 저감량, n 은 홍수저감목표지점의 수, m 은 설치예정 천변저류지 수, V_i 는 후보천변저류지 용량, $V_i^{\max}$ 는 후보 천변저류지 최대용량을 의미한다.

3. 모형의 적용

3.1 대상유역

"안성천수계 유역종합치수계획(건설교통부, 2007)"에서는 소규모 수공구조물 설치를 통한 홍수저감 방안을 검토하기 위해 그림 2 에 나타난 것과 같이 13 개 지점에 대한 천변저류지 설치를 검토하였으며, HEC-RAS의

부정류 해석 기능을 이용하여 천변저류지의 홍수 저감량을 산정하고, 천변저류지 직하류부 홍수 저감량을 기준으로 천변저류지 설치 위치를 결정하였다. 안태진 등(2008) 및 백천우 등(2009)은 토지이용현황, 과거 침수피해현황 등을 고려하여 안성천 상류(홍수저감목표지점1), 안성천 중류(홍수저감목표지점2), 진위천(홍수저감목표지점3) 및 진위천 합류 후(홍수저감목표지점4)의 4 개 지점을 홍수저감 목표지점으로 선정하였으며, 안성천 유역의 100 년 빈도 홍수사상에 대한 천변저류지 최적의 위치를 저류지 설치 수에 따라 결정하였다. 표 1 에는 “안성천수계 유역종합치수계획(건설교통부, 2007)”에서 검토한 13 개 저류지의 제원이 나타나 있다.

그림 2. 대상유역(안성천수계)

표 1. 안성천 유역 천변저류지 제원

천변 저류지 ID	천변 저류지명	면적 (km^2)	최대 저류용량 (m^3)	월류고 (m)	월류 웨어폭(m)	수위-유량 관계곡선식
W1	평궁	0.21	575,000	6.50	30	$H=0.411\times Q^{0.379}$
W2	신가	1.64	2,784,000	7.60	75	$H=1.605\times Q^{0.222}$
W3	중복	2.06	3,543,000	8.50	75	$H=2.518\times Q^{0.183}$
W4	양령	0.77	1,362,000	10.49	100	$H=3.818\times Q^{0.147}$
W5	건천	0.99	1,060,000	12.70	75	$H=6.060\times Q^{0.109}$
W6	신계	0.67	297,000	14.30	100	$H=6.613\times Q^{0.106}$
W7	동청	1.02	4,151,000	5.50	50	$H=0.136\times Q^{0.498}$
W8	백봉	0.56	2,240,000	5.50	30	$H=0.151\times Q^{0.487}$
W9	어연	1.05	4,662,000	6.00	70	$H=0.203\times Q^{0.457}$
W10	문곡	1.56	7,909,000	7.00	200	$H=0.284\times Q^{0.422}$
W11	회화	1.47	3,293,000	9.00	70	$H=1.439\times Q^{0.254}$
W12	신리	1.30	2,015,000	13.60	70	$H=8.321\times Q^{0.074}$
W13	마두	2.20	8,976,000	7.70	70	$H=0.642\times Q^{0.377}$

3.2 적용결과

본 연구에서는 백천우 등 (2009)이 개발한 모형을 안성천 유역에 적용하여 50, 80, 100, 150 및 200 년 빈도의 5 개 설계빈도에 대한 천변저류지 최적위치 및 월류고를 산정해 보았다. 표 2는 50, 80, 100, 150 및

200 년 빈도 강우 사상에 모형을 적용한 결과 저류지 적용 수에 대한 각 저류지별 선택된 횟수를 나타내고 있으며, 표 3 은 5 개의 설계홍수사상에 대한 모의를 통해 선정된 최적의 월류고의 평균값과 기존의 “안성천 수계 유역종합치수계획(건설교통부, 2007)”에서 적용한 월류고 값, 그리고 백천우 등 (2009)의 연구에서 산정된 월류고 값을 비교해 나타내고 있다.

표 2 에 나타난 것과 같이 천변저류지를 2 개 설치할 경우 강우빈도에 상관없이 문곡과 마두에 설치할 경우 홍수조절 효과가 최대가 되고 있으며, 천변저류지를 5 개 설치할 경우, 홍수빈도에 따라 양령과 어연저류지가 나뉘어서 선택됨을 알 수 있다. 하지만 대부분의 경우에서 설계빈도와 상관없이 모두 선택되는 특정저류지가 있음을 알 수 있다. 이와 같은 저류지의 경우 최종적인 천변저류지 위치 선정시에 반드시 포함되어야할 중요한 저류지로 판단할 수 있다. 본 연구에서 천변저류지 최적위치 선정을 위해 사용한 적합도함수는 홍수저감 목표지점에서의 홍수조절효과의 최대화이며, 홍수저감 목표지점의 위치, 유역의 형상, 유역의 특성 등에 의해 최적의 천변저류지 위치는 달라질 것이며, 적용된 결과와 이와 동일한 결과를 나타내고 있다. 즉 단순히 각 저류지별 저류용량이 위치선정에 있어 가장 큰 영향을 주는 실무에서의 방법이 개선의 여지가 있음을 알 수 있다.

표 2. 강우사상별, 설치 수별 천변저류지 선택횟수

저류지수	평궁 W1	신가 W2	중복 W3	양령 W4	건천 W5	신계 W6	동청 W7	백봉 W8	어연 W9	문곡 W10	회화 W11	신리 W12	마두 W13
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	3
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	5
3	0	0	5	0	0	0	0	0	0	5	0	0	5
4	0	5	5	0	0	0	0	0	0	5	0	0	5
5	0	5	5	3	0	0	0	0	2	5	0	0	5
6	0	5	5	2	0	0	0	0	4	5	4	0	5
7	0	5	5	5	1	0	0	0	4	5	5	0	5
8	1	5	5	5	3	0	3	0	5	5	3	0	5
9	2	5	5	5	5	0	4	0	5	5	4	0	5
10	1	5	5	5	4	0	5	1	5	5	5	4	5
11	2	5	5	5	5	0	5	5	5	5	5	3	5
12	4	5	5	5	5	4	5	4	5	5	5	3	5
13	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
계	15	50	55	40	28	9	27	15	40	62	36	15	63

표 3. 5개 설계빈도에 대한 최종 월류고 비교

천변 저류지 ID	유역종합치수계획상 월류고 (건설교통부, 2007)	평균월류고 (백천우 등, 2009) (m)	설계빈도별 산정된 월류고 평균 (m)	
			50, 80, 100년 빈도	50, 80, 100년, 150년, 200년 빈도
W1	**6.50**	6.60	6.41	6.61
W2	**7.60**	7.29	7.17	7.30
W3	**8.50**	8.49	8.40	8.51
W4	**10.49**	10.43	10.28	10.38
W5	**12.70**	12.66	12.52	12.61
W6	**14.30**	14.00	13.92	14.01
W7	**5.50**	4.80	4.80	4.80
W8	**5.50**	4.80	4.80	4.80
W9	**6.00**	5.30	5.30	5.30
W10	**7.00**	6.87	6.68	6.90
W11	**9.00**	8.35	8.34	8.40
W12	**13.60**	12.90	12.90	12.90
W13	**7.70**	7.65	7.41	7.64

표 3에 나타난 것과 같이 설계빈도 100년의 단일 홍수사상(백천우 등, 2009)은 물론이고 3개 설계빈도(50, 80, 100년)와 5개(50, 80, 100, 150, 200년)에 대한 모형의 적용 결과, 대부분 저류지의 월류고가 “안성천 수계 유역종합치수계획(건설교통부, 2007)”의 월류고보다 낮게 산정되었다. 이와 같은 결과는 기존의 “안성천 수계 유역종합치수계획(건설교통부, 2007)”에서 설정한 월류고 값을 일부 낮게 조정할 경우, 홍수조절 효과면에서 높은 효과를 기대할 수 있다는 것을 의미하며, 저빈도 홍수사상에 대한 홍수조절효과를 얻기 위해 천변저류지와 같은 소규모 수공구조물을 이용할 경우 실질적인 월류고 산정이 더욱 필요한 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 유역의 유입수문곡선변화가 천변저류지군의 홍수저감효과에 미치는 영향을 분석해 보았다. 천변저류지의 최적위치를 결정하기 위해 개발된 기존의 모형을 안성천유역에 적용하여 50, 80, 100, 150 및 200년 빈도의 5개 설계빈도에 대한 천변저류지 최적위치 및 월류고를 산정해 보았으며 기존의 연구결과 비교하였다. 적용결과 적용하는 설계빈도의 변화와 상관없이 항상 선택되는 특정저류지가 있었으며, 이와 같은 저류지의 경우 최종적인 천변저류지 위치 선정시에 반드시 포함되어야할 중요한 저류지로 판단할 수 있었다. 즉 단순히 각 저류지별 저류용량이 위치선정에 있어 가장 큰 영향을 주는 실무에서의 방법이 개선의 여지가 있음을 알 수 있다. 또한 실제 저류용량이 적은 천변저류지를 이용하여 100년 빈도 이상의 고빈도 홍수사상에 대한 높은 홍수조절효과를 기대하는 것은 비현실적일 수 있으며, 저빈도 홍수사상에 대해 천변저류지와 같은 소규모 수공구조물을 이용할 경우 실질적인 월류고 산정이 필요한 것으로 판단되었다.

감 사 의 글

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

참 고 문 헌

1. 강수만, 박민지, 김상호, 김성준 (2007) “홍수범람모형을 이용한 침수피해 저감방안 연구 : 진위천 하천구간을 대상으로.” 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제27권, 제6B호, pp. 583 - 590.
2. 건설교통부 (2005). 천변저류지 기본계획 수립에 관한 연구, 건설교통부.
3. 건설교통부 (2007). 안성천수계 유역종합치수계획, 건설교통부.
4. 백천우, 김복천, 안태진 (2009). “월류부특성변화에 따른 천변저류지군의 홍수저감효과분석.” 한국방재학회논문집, 한국방재학회, 제9권, 제1호, pp. 145 - 150.
5. 안태진, 강인웅, 백천우 (2008). “수문학적 홍수저감효과 기반의 천변저류지 최적위치 선정을 위한 의사결정모형의 개발.” 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제41권, 제7호, pp. 725 - 735.
6. Ormsbee, L.E., Houck, M.H., and Delleur, J.W. (1987). “Design of Dual-Purpose Detention System using Dynamic Programming." *Journal of Water Resources Planing and Management*, ASCE, Vol. 113, No. 4, pp. 471 - 484.
7. Travis, Q.B. and Mays, L.W. (2008). “Optimizing Retention Basin Networks." *Journal of Water Resources Planing and Management*, ASCE, Vol. 134, No. 5, pp. 432 - 439.