

자연방류형 단일저류지의 임계지속기간 분석

Analysis on Critical Duration for Uncontrolled Single Detention Pond

박종영*, 신창동**, 이정식***
Jong Young Park, Chang Dong Shin, Jung Sik Lee

요 지

본 연구에서는 인접하는 유역과 어떠한 동적인 상호작용없이 유출이 독립적으로 결정되는 자연방류형 단일저류지를 대상으로 기존의 연구에서 임계지속기간 결정에 빈번히 이용되었던 최대첨두유량 발생시간, 최대 저류용량 발생시간, 최대 저류비 발생시간을 기준으로 한 임계지속기간을 산정하여 분석하므로써 자연방류형 단일저류지의 임계지속기간의 결정에 있어 합리적인 성과를 도출하고자 하였다. 적용결과, 최대 저류용량을 기준으로 한 경우에는 저류지 규모와 같은 제약조건을 가져오게 되고, 최대 저류비를 기준으로 한 경우에는 강우지속기간에 따라 저류비는 지속적으로 감소하므로 두 기준을 통하여 임계지속기간을 결정하는 것은 적합하지 않은 것으로 판단되었다. 따라서 허용방류량 고정개념을 통하여 최대 저류비, 최대 저류용량을 통하여 임계지속기간을 산정하였다. 그 결과 자연방류형 단일 저류지에서는 최대 저류용량을 통하여 적정 임계지속기간을 검토할 수 없는 것으로 판단되었다. 그러므로 최대 저류비를 이용하여 자연방류형 저류지에서의 최대 저류비를 발생시키는 시간분포를 정리한 결과 전체적으로 Huff 2분위가 최대 저류비를 발생시키는 것으로 나타났다. 그리고 첨두저류비 변화율을 검토한 결과 매우 제한적인 조건이기는 하지만 허용방류량 고정개념을 이용한 경우에 한하여 지속기간별 최대 첨두유량의 임계지속기간과 자연방류형 단일저류지의 임계지속기간을 동일하게 간주하는 것이 큰 무리는 아닌 것으로 판단되었다.

핵심용어 : 단일 저류지, 임계지속기간, 첨두유량, 저류비, 저류용적

1. 서론

저류시설물에 대하여 저류용량이나 저류비의 개념을 이용한 임계지속기간의 결정은 저류지 규모, 저류지 수면적 및 수심, 방류구의 제원 및 허용방류량, 하류부의 외수위 조건 등에 따라 변화하게 되므로 임계지속기간을 결정하는데 상당한 어려움이 있어, 저류지에서 임계지속기간을 결정하는 명확한 기준 또한 마련되지 못하고 있다. 또한, 국내 실무진에서도 저류지를 위한 임계지속기간의 결정에 있어 개발 단계별, 유출량 산정 방법별, 설계강우의 시간분포별로 각기 다른 결과를 야기시키는 임계지속기간의 결정에 일관성 있는 결과를 도출하지 못해 치수구조물에 적용되고 있는 지속기간에 따른 최대첨두유량 발생시간을 저류지의 임계지속기간으로 적용하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 인접하는 유역과 어떠한 동적인 상호작용없이 유출이 독립적으로 결정되는 자연방류형 단일저류지를 대상으로 기존의 연구에서 임계지속기간 결정에 빈번히 이용되었던 최대첨두유량 발생시간, 최대 저류용량 발생시간, 최대 저류비 발생시간을 기준으로 한 임계지속기간을 산정하여 분석하므로써 자연방류형 단일저류지의 임계지속기간의 결정에 있어 보다 합리적인 성과를 도출하고자 한다.

*정회원(주)방재안전기술원 차장·E-mail : hydroen@dpsi.or.kr
**정회원·금오공과대학교 토목공학과 박사과정·E-mail : sichado88@kumoh.ac.kr
***정회원·금오공과대학교 토목공학과 교수·E-mail : jungsik@kumoh.ac.kr

2. 대상유역

형상계수에 따라 세가지 형태의 가상 소유역과 설마천유역의 전적비 지점을 대상으로 하였으며, 가상 소유역은 형상계수에 따라 세장형, 중간형, 집중형 등의 서로 다른 유역형태를 구성하기 위해 10개의 단위소유역을 조합하였다. 소규모 하천유역에 대한 유역특성은 표 1에 제시한 바와 같다.

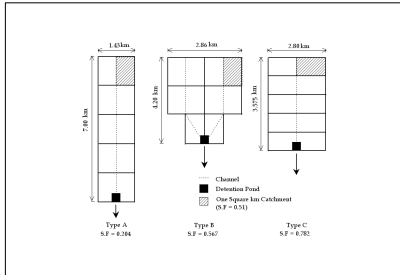


그림 1. 가상 소유역

표 1. 소유역의 유역특성

구분	유역명 (Type)	유역면적 (km ²)	유로연장 (km)	형상계수 SF	경사 S ₀ (%)	유출곡선지수 (AMC II)	도달시간 (min)
가상 소유역	세장형 (Type A)	10.0	7.00	0.204	30.0	80	71.3
	중간형 (Type B)	10.0	4.20	0.567	30.0	80	48.9
	집중형 (Type C)	10.0	3.58	0.782	30.0	80	41.7
설마천	전적비	8.5	5.80	0.252	36.0	83	50.9

3. 자연방류형 단일저류지

3.1 자연방류형 단일 저류지 형상

자연방류형 단일저류지는 그림 2와 같이 출구를 통하여 방류되는 유출량은 식 (1)과 같다.

$$Q_{out} = C_0 A \sqrt{2gh_0} \quad (1)$$

여기서 C_0 는 오리피스 유량계수, A 는 방류구의 단면적, g 는 중력가속도, h_0 는 방류구 중심으로부터 저류조의 자유수심까지의 길이이다. 식 (1)에서의 유량계수값은 態谷純一郎과 原田幸雄(1993)이 제시한 바와 같이 0.6으로 가정한다. Weir의 유량산정은 식 (2)를 이용하였다.

$$Q = 1.8BH^{3/2} \quad (2)$$

여기서 B 는 여수로 폭(m), H 는 월류수심(m)이다.

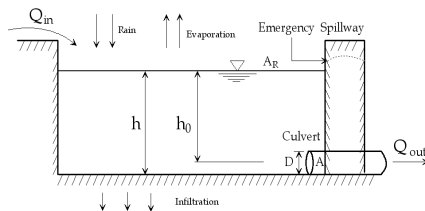


그림 2. 자연방류형 단일 저류지

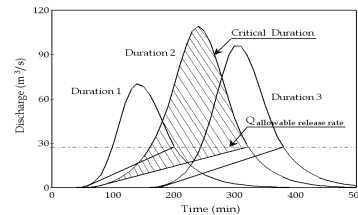


그림 3. 임계지속기간 결정

3.2 자연방류형 단일저류지 용량 결정

강우의 지속기간별로 최대첨두유량을 발생시키는 지속기간을 일차적으로 결정한 후, 이 지속기간에서의 첨두유량과 유출용량을 결정하고 총유출용량에 대한 최대 10, 20, 30%의 경우별로 유출용량이 개발로 인해 증가할 것으로 가정하여 자연방류형 단일저류지의 규모를 결정하는데 이용하였다.

3.2.1 강우의 지속기간별 최대 첨두유량의 결정

강우의 지속기간에 따라 최대유량을 나타내는 지속시간의 수문곡선을 일차적으로 결정하고 이 수문곡선 용량의 10, 20, 30%를 취하여 저류지의 용량으로 가정하였다. 이 때 시간분포는 박종영 등(2004)에 의해서 제시된 Huff 4분위를 이용하였다. 도달시간은 NRCS 지체공식을 이용하였다. NRCS 합성단위도와 원주지점의

50년 확률강우강도식(건설교통부, 2000)를 이용하여 최대 침투유량을 보이는 강우의 지속시간을 결정하고 최대 침투유량과 유출용량을 각각 표 2와 같이 산정하였다.

3.2.2 저류지 규모 결정

저류용량이 가장 크게 나타난 세장형의 최대 침투유량을 통하여 저류지 용량으로 결정하고 소유역에 동일 조건으로 적용하였다. 이 때 최대 침투유량의 10, 20, 30%를 저류지 용량으로 결정하였으며, 허용방류량의 조건은 2가지 경우를 대상으로 검토하였다. 하류부의 방류조건은 설마천유역의 전적비지점에서의 통수능력이하로 설정하였으며, 이를 바탕으로 방류관의 규모를 두가지 경우로 구분하여 방류관의 규모차이에 따른 임계지속시간을 검토하였다. 표 3은 자연방류형 단일 저류지와 방류시설물의 규모를 나타내고 있다.

표 2. 최대 침투유량과 유출용량 결정

구 분	특 성	최대 침투유량 발생시간 (min)	최대 침투유량 (m ³ /s)	최대 침투유량시 유출용량 (m ³)
		가 상 소 유 역	세장형	390
	중간형	300	142.5	1,077,060
	집중형	300	149.6	1,077,120
설마천	전적비	280	172.6	1,270,440

표 3. 저류지 규모와 방류시설물 제원 결정

구 분	저류지 용량(m ³)	저류지 면적 (B×H m)	수심 (m)	방류관 (mm×런)	여수로	
					높이(m)	길이(m)
10%	129,084	136×136	7	φ2000×2 φ2000×3	2.5	8
20%	258,168	195×195	7	φ2000×2 φ2000×3	2.5	8
30%	387,252	236×236	7	φ2000×2 φ2000×3	2.8	8

4. 자연방류형 단일저류지의 임계지속기간 산정

4.1 기존의 개념들을 통한 임계지속기간 산정

저류지 규모와 방류시설물의 제원을 바탕으로 하여 자연방류형 단일저류지의 임계지속기간을 산정하였다. 자연방류형 단일저류지에서의 임계지속기간을 산정하기 위하여 최대침투유량 기준, 최대저류비 기준(, 최대저류용량 기준의 선정기준을 통해 임계지속기간을 결정하였다. 지속기간별 최대 침투유량을 기준으로 한 임계지속기간을 살펴보면, 설마천유역, 집중형, 집중형, 중간형, 세장형 가상 소유역 순으로 임계지속기간이 늦게 발생하는 것으로 나타났다. 그리고 최대 침투유량을 발생시키는 시간분포는 Huff 4분위로 나타났다. 자연방류형 저류지에서 최대 저류비를 기준으로 한 경우에는 강우지속기간에 따라 저류비는 지속적으로 감소하고, 최대 저류용량을 기준으로 한 경우에는 저류지 규모와 같은 제약조건을 가져오게 되므로 두 기준을 통하여 임계지속기간을 결정하는 것은 적합하지 않은 것으로 판단되었다.

4.2 허용방류량 고정개념을 통한 임계지속기간 산정

그림 3과 같이 Hall 등(1993)이 제안한 저류지 용량의 결정에 이용되는 방식인 허용방류량 고정조건을 통하여 임계지속기간을 결정하고자 한다. Hall 등이 제안한 방법을 소규모 하천유역에 적용하였고, 허용방류량의 조건에 따른 저류비와 저류량의 검토를 위하여 각각 15m³/s, 25m³/s, 35m³/s의 세 경우를 대상으로 임계지속기간을 검토하였다. 검토결과, 최대 저류비를 기준으로 한 임계지속기간은 허용방류량의 조건에 따른 임계지속기간의 일정한 변화는 나타나지 않았으나 최대 저류비를 통한 임계지속기간을 산정할 수 있는 것으로 나타났다. 강우의 지속기간의 증가에 따른 저류용량의 양상은 전체적으로 지속기간의 증가에 따라 점차적으로 증가하고 있어 적절한 임계지속기간을 검토할 수 없었다. 최대 저류용량은 대체적으로 Huff 2분위와 Yen 과 Chow 중방위에서 나타났으며, 최대 저류비를 기준으로 한 경우와 유사하게 Huff 4분위는 최대 저류용량이 가장 작게 나타났다. 최대 저류용량을 기준으로 한 임계지속기간을 살펴보면, 모든 유역에서 지속기간의 증가에 따라 최대 저류용량은 증가하고 있어 적절한 임계지속기간을 검토할 수 없었다.

4.3 자연방류형 단일저류지의 적정 강우시간분포

자연방류형 단일 저류지에서는 최대 저류비나 최대 저류용량을 통하여 적정 임계지속기간을 검토할 수 없는 것으로 판단되었다. 따라서 허용방류량 고정개념을 통하여 최대 저류비를 산정하고 이를 바탕으로 자연

방류형 단일저류지에서의 적정 시간분포를 검토하고자 하였다. 각 대상유역별로 결과를 분석하여 자연방류형 저류지에서의 최대 저류비를 발생시키는 시간분포를 정리한 결과는 표 4와 같으며, 전체적으로 Huff 2분위가 최대 저류비를 발생시키는 것으로 나타나고 있다.

표 4. 저류지에서 적정 시간분포

유역 허용방류량	세장형	중간형	집중형	설마천유역
15m ³ /s	Huff 2분위	Yen과 Chow 중방위/Huff 2분위	Huff 2분위	Huff 2분위
25m ³ /s	Yen과 Chow 중방위	Huff 1분위	Huff 1분위	Huff 2분위
35m ³ /s	Huff 2분위	Yen과 Chow 중방위/Huff 2분위	Yen과 Chow 전방위/Huff 2분위	Huff 2분위

표 5. 첨두저류비 변화율 (단위 : %)

유역 허용방류량	가상 소유역			설마천
	세장형	중간형	집중형	전적비
15m ³ /s	0.584	0.459	0.111	0.337
25m ³ /s	0.257	0.000	0.497	0.362
35m ³ /s	1.148	1.379	0.680	0.782

4.4 허용방류량 고정개념 적용시 자연방류형 저류지에서 적정 임계지속기간

Huff 2분위를 대상으로 최대 첨두유량을 기준으로 한 임계지속기간과의 비교를 통해 자연방류형 저류지에서의 적정 임계지속기간을 검토하고자 한다. 표 5는 첨두저류비가 발생한 임계지속기간과 최대 첨두유량이 발생한 임계지속기간의 첨두저류비 변화량을 식 (3)을 통하여 검토한 결과이다.

$$\Delta S_{pk}(\%) = \frac{(S_{pk} - S_{pr})}{S_{pr}} \times 100 \quad (3)$$

여기서 ΔS_{pk} 는 방법 k 의 첨두저류비 변화율, S_{pk} 는 방법 k 의 최대저류비, S_{pr} 은 최대첨두유량 발생 임계지속기간의 최대저류비이다. 표 5를 살펴보면, 허용방류량의 증가에 따라 첨두저류비 변화율이 다소 증가하는 경향을 보이긴 하지만 모든 유역에서 첨두저류비 변화율이 2%를 넘지 않고 있음을 알 수 있다. 따라서 매우 제한적인 조건이기는 하지만 허용방류량 고정개념을 이용한 경우에 한하여 최대 첨두유량의 임계지속기간과 자연방류형 단일저류지의 임계지속기간을 동일하게 간주하는 것이 큰 무리는 아닌 것으로 판단된다.

5. 결론

(1) 기존의 개념을 적용시, 최대 저류비 기준과 저류지 규모의 제약조건을 가져오는 최대 저류용량 기준을 통하여 자연방류형 단일저류지의 임계지속기간을 결정하는 것은 적절하지 못한 것으로 판단되었다.

(2) 허용방류량 고정개념을 적용시, 최대 저류상황을 발생시키는 시간분포는 Huff 2분위로 나타났다. 또한, 매우 제한적인 조건이지만 지속기간별 최대 첨두유량의 임계지속기간과 자연방류형 단일저류지의 임계지속기간의 동일 가정에 대한 적용 가능성을 시험해 볼 수 있었다.

감 사 의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업 (03산학연C03-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구성과입니다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부 (2000). 한국 확률강우량도 작성, 수자원관리기법개발연구조사 보고서, 제1권.
2. 박종영, 신창동, 이정식 (2004). 중규모 하천유역에서 설계강우의 임계지속기간에 관한 연구, 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제37권, 제8호, pp.695 ~ 706.
3. Hall, M, J., Hockin, D. L., and Ellis, J. B.(1993), *Design of Flood Storage Reservoirs*, CIRIA and Burrerworth-Heinemann Ltd.
4. 熊谷純一郎, 原田幸雄(1986). 雨水貯留施設の計劃と設計, 鹿島出版會.