

저류지 예비설계에 관한 비교연구

Comparative Study on Preliminary Design of Detention Basins

박민규*, 유철상**, 박창열***
Minkyu PARK, Chulsang YOO, Changyeol PARK

요 지

본 연구에서는 저류지 예비설계를 위해 제안된 다양한 모형의 수문학적 특성을 비교하고, 재해영향평가 실무지침서 등과 같은 국내 설계기준에 의하여 설계된 저류지 용량을 기준으로 저류지 홍수조절용량 결정의 적정성을 검토하였다. SCS 모형 등 총 9가지 모형을 대상으로 비교한 결과 Wycoff and Singh 모형, Baker 모형, Kessler and Diskin 모형과 Currey and Akan 모형 4가지의 적용결과와 국내 방식으로 산정된 저류지 용량의 상관성은 89.7%로 높게 나타났다. 또한 홍수조절용량 15,000m³ 이하에서 특히 상관성이 높게 나타나 상기 모형들을 소규모 저류지 시설을 계획하기 위한 초기 가정치 또는 기준에 설치된 저류지 시설들의 용량 평가목적으로 활용할 수 있을 것으로 판단되었다. 또한, 국내에서 주로 설치되고 있는 저류지의 특성을 반영하여 추가로 적용성이 높은 방법을 도출할 경우 행정계획단계의 사전재해영향성검토나 소규모 개발사업 등에서 저류지의 홍수조절용량의 예비설계 목적으로 활용할 수 있으리라 판단된다.

핵심용어 : 저류지, 예비설계, 재해영향평가, 사전재해영향성검토

1. 서 론

최근의 기상변화에 의한 이상홍수 및 유역의 도시화로 인한 불투수면적의 증가는 홍수시 유출량을 증가시키고 기존 하도 또는 내배수시스템의 적정 소통량을 초과하는 홍수를 발생시키고 있다. 이때 저류지는 홍수를 일시 조절하여 하도 또는 내배수시스템의 적정한 홍수 소통능력을 초과하는 유출을 억제하는 재해저감 시설물로 국내외에서 널리 이용되는 구조적 홍수대책의 하나이다.

국내에서는 1996년도부터 재해영향평가제도의 도입으로 대규모 개발사업에 대해서 저류지와 같은 재해저감대책의 도입을 명시하고 관련 연구를 통하여 저류지 계획을 위한 기준을 갖춘 바 있다. 또한 2005년 9월부터 사전재해영향성검토제도의 도입으로 다양한 여건 및 형식의 저류지의 도입 필요성이 대두되고 있으며 이에 대한 적정한 해석 및 설계기법에 대한 욕구가 증가하고 있다. 그러나 기존의 재해영향평가 실무지침서 등에서 규정된 설계기준은 도시, 농촌, 산지, 하천변, 해변 등 다양한 입지적 여건이나 각종 개발사업이 재해 측면에서 미치는 영향의 정도 등과 관련하여 불명확한 부분이 많아 적정 소요용량의 판단과 관련된 연구는 아직 초보적인 수준이라고 할 수 있다. 특히, 소규모 개발사업에 경우에는 소요 저류용량의 변동성이 높아 적정 소요용량이 얼마나 필요할 것인가에 대한 판단이 더욱 어려운 실정이다.

본 연구는 이와 관련된 연구의 시작단계로 저류지를 계획할 경우 국내의 지침 등으로 산정된 저류지 용량을 기준으로 홍수조절용량 추정을 위한 모형을 검토하여 예비설계 또는 평가와 관련된 기술을 개발함으로써 저류지의 적용성을 향상시키고자 한다. 이를 위해 저류지 예비설계를 위해 제안된 국내외의 다양한 모형의 수문학적 특성을 비교하고, 국내설계기준에 의하여 재해영향평가와 사전재해영향성검토 등에서 채택한 저류지 용량을 기준으로 저류지 예비설계 모형 도입의 적정성을 검토하였다.

* 정회원-고려대학교 사회환경시스템공학과 박사과정·E-mail: mkhoi@korea.ac.kr
** 정회원-고려대학교 사회환경시스템공학과 교수·E-mail: envchul@korea.ac.kr
*** 정회원-고려대학교 사회환경시스템공학과 석사과정·E-mail: changyeol@korea.ac.kr

2. 관련 자료의 수집

본 연구에서 수집한 국내에서 수행된 재해영향평가 최종보고서는 아래와 같으며, 수문특성 및 시설물 제원이 정리된 영구저류지 총수는 19개이다. 재해영향평가 보고서 수집시 2005년 4월 이전에 협의가 완료된 재해영향평가 결과는 첨두유출량이 최대가 되는 지속시간을 임계지속시간으로 하고 있다. 이로 인해 저류지 홍수조절용량이 과소추정되어 왔기 때문에 조사 대상에서 배제하였다. 따라서 금회 수집대상은 2005년 4월에 개정된 재해영향평가 실무지침서에 따라 협의가 이루어진 재해영향평가의 저류지로 선정하였으며 이들 저류지는 모두 저류지 용량이 최대가 되는 임계지속시간을 기준으로 하고 있다.

표 1. 수집된 재해영향평가 자료

사업명	사업유형	사업위치	사업고려 영구저류지 수	재해영향평가 협의연도
영광C.C(대중18홀)조성사업	체육시설	영광군	8	2005년
장성동화C.C(대중골프장제27홀)조성사업	체육시설	장성군	6	2006년
구례온천C.C(회원제27홀)조성사업	온천시설	구례군	3	2006년
대관령알펜시아조성사업	관광단지	평창군	2	2006년

3. 저류지 예비설계를 위한 모형의 이론적 배경

저류지 설계를 위한 기준은 나라마다 또는 같은 나라의 경우에도 지역에 따라 다양하다. 저류지를 계획하는 주요 목적은 개발에 따라 증가된 홍수량을 개발전의 홍수량 규모 이하로 저감하는 것이다. 이때, 지형 또는 지질적인 측면에서 저류지 용량의 물리적인 제약조건과, 개발로 증가된 유입수문곡선을 개발전 홍수량 이하로 방류량을 조절해야 하는 두 가지 제약조건을 저류지 추적 등을 통해 확인해야 한다. 통상적으로 이 같은 과정에서는 저류지 시설 제원을 가정하고 저류지 추적을 통해 만족 여부를 확인하는 시행착오과정을 반복하게 된다. 때로 이러한 시행착오는 쉽게 적정 조건을 찾기 힘들거나 제원변경에 따른 만족 여부의 수렴성을 확인하기 어려워 무수히 많은 반복을 하게 된다.

이러한 저류지 설계과정으로 연계 되는 주요 제원은 저류지의 홍수조절용량이다. 홍수조절용량을 저류지의 입장에서 정의하면 개발후의 유출량을 하류에서 허용될 수 있는 유량으로 저감시키는데 필요한 용적이라고 할 수 있다. 이때 하류에서 허용될 수 있는 유량의 설정은 첫 번째 개발전의 유출량, 두 번째 하도 또는 내 배수시스템의 소통가능한 유량 그리고 마지막으로 유역에 관한 종합치수계획 등에서 피해방지를 위해 지역별로 할당된 유량으로 할 수 있다. 우리나라의 재해영향평가에서는 개발전의 유출량으로 규정하고 있으나 경우에 따라서 하류측의 중요도나 실제 발생 피해를 고려해 다른 두가지 방법으로 정의해 별도로 유량을 선정하는 경우도 있다. 이러한 일련의 과정에서 홍수조절용량의 결정과 관련된 저류지 예비설계를 위한 모형은 주어진 유역 및 수문조건에서 최적화된 시설물 제원을 미리 가정할 수 있다는 측면에서 매우 유용한 도구가 된다.

본 연구에서 수집된 저류지 예비설계를 위한 모형은 총 9가지이며 3가지 유형을 가지고 있는 것으로 조사되었다. 첫 번째는 저류방정식에 기초하여 미리 결정된 무차원 해를 알려주는 모형으로 Kessler and Diskin 모형(1991), McEnroe 모형(1992), Currey and Akan 모형(1998) 등이 있다. 이들 모형은 저류지 방류구조물 제원을 일정한 형태로 미리 가정함으로써 해를 얻었다. 두 번째는 유입수문곡선과 방류량수문곡선을 가정하여 이로부터 저류지의 소요용량을 유도해 내는 방법에 해당하며 Abt and Grigg모형(1978), Baker 모형(1979), Aron and Kibler 모형(1990) 등이 있다. 마지막으로 세 번째 유형은 다양한 저류지의 실제 추적결과를 최대한 많이 수집하여 회귀분석 등을 통해 유도하는 방법이다. 이와 같은 모형에는 Wycoff and Singh 모형(1976), SCS 모형(1986) 등이 있다.

표 2. 홍수조절용량 산정을 위한 모형

No.	Equations	Number of outlets	Outlet types(s)	Remarks	Reference
1	$\frac{S_{max}}{S_R} = \frac{1.291(1 - Q_p/I_p)^{0.763}}{(T_p/t_p)^{0.411}}$	Not specified	Not specified	다양한 모의수행결과를 정리	Wycoff and Singh(1976)
2	$\frac{S_{max}}{S_R} = \left(1 - \frac{Q_p}{I_p}\right)^2$	Not specified	Not specified	삼각형 유입수문곡선 사다리꼴 방류수문곡선	Abt and Grigg(1978)
3	$\frac{S_{max}}{S_R} = \left(1 - \frac{Q_p}{I_p}\right)$	Not specified	Not specified	삼각형 유입수문곡선 삼각형 방류수문곡선	Baker(1979)
4	$\frac{S_{max}}{S_R} = 0.660 - 1.76\left(\frac{Q_p}{I_p}\right) + 1.96\left(\frac{Q_p}{I_p}\right)^2 - 0.730\left(\frac{Q_p}{I_p}\right)^3$	Not specified	Not specified	SCS 24-Hour Types I	Soil conservation service(1986)
5	$\frac{S_{max}}{S_R} = 0.682 - 1.43\left(\frac{Q_p}{I_p}\right) + 1.64\left(\frac{Q_p}{I_p}\right)^2 - 0.804\left(\frac{Q_p}{I_p}\right)^3$	Not specified	Not specified	SCS 24-Hour Types II	Soil conservation service(1986)
6	$S_{max} = I_p^t - Q_p \left(\frac{t_d + T_c}{2}\right)$	Not specified	Not specified	삼각형 유입수문곡선 일정한 방류수문곡선	Aron and Kibler(1990)
7.a	$\frac{S_{max}}{S_R} = 0.932 - 0.792 \frac{Q_p}{I_p}$	Single	Weir type	$0.2 < (Q_p/I_p) < 0.9$	Kessler and Diskin(1991)
7.b	$\frac{S_{max}}{S_R} = 0.872 - 0.861 \frac{Q_p}{I_p}$	Single	Orifice type	$0.2 < (Q_p/I_p) < 0.9$	Kessler and Diskin(1991)
8.a	$\frac{S_{max}}{S_R} = 0.98 - 1.17\left(\frac{Q_p}{I_p}\right) + 0.77\left(\frac{Q_p}{I_p}\right)^2 - 0.46\left(\frac{Q_p}{I_p}\right)^3$	Single	Weir type	감마함수형 유입수문곡선	McEnroe(1992)
8.b	$\frac{S_{max}}{S_R} = 0.97 - 1.42\left(\frac{Q_p}{I_p}\right) + 0.82\left(\frac{Q_p}{I_p}\right)^2 - 0.46\left(\frac{Q_p}{I_p}\right)^3$	Single	Orifice type	감마함수형 유입수문곡선	McEnroe(1992)
9.a	$\frac{S_{max}}{S_R} = 0.922 - 0.787 \frac{Q_p}{I_p}$	Single	Weir type	감마함수형 유입수문곡선 S=hc ⁿ 가정	Currey and Akan(1998)
9.b	$\frac{S_{max}}{S_R} = 0.847 - 0.841 \frac{Q_p}{I_p}$	Single	Orifice type	감마함수형 유입수문곡선 S=hc ⁿ 가정	Currey and Akan(1998)

주 1) a, b는 유출부 형태에 따른 구분(본 연구에서는 Orifice로 적용)
 주 2) 상기에서 주요 변수는 Q_p : 첨두방류량, I_p : 첨두유입량, R_c : 초과우량, A : 유역면적, T_b : 유입수문곡선의 지속기간, t_p : 첨두유입량 발생시간, t_d : 강우지속기간, T_c : 도달시간

4. 홍수조절용량의 산정결과 비교

상기에서 조사된 저류지 예비설계를 위한 모형들을 기존의 재해영향평가에서 제시한 저류지의 용량과 비교하였으며 그 결과는 표 3과 같다. 표 3의 가장 오른쪽 열은 재해영향평가에서 협의를 통해 결정된 개발후 영구저류지의 홍수조절용량이다. 홍수조절용량 결정을 위한 모형 적용시 저류지 방류구조물 제원을 일정한 형태로 가정하는 모형들은 기존 재해영향평가에서 일률적으로 주여수로를 연직관으로 설계하고 있기 때문에 이에 가까운 오리피스 형식으로 하였다.

그림 1은 표 2의 모형별 홍수조절용량 산정결과를 재해영향평가에서 결정된 홍수조절용량과 비교하기 위하여 산포도 그래프를 작성한 결과이다. 그림 1의 x축은 재해영향평가에서 결정된 저류지 홍수조절용량이고, y축에는 각 홍수조절용량 산정 모형의 결과를 동일한 크기를 가지는 축으로 도시한 것이다. 따라서 그림 1의 대각선에 근접하여 도시된 저류지 예비모형의 산정결과가 기존 재해영향평가의 결과와 잘 일치한다는 것을 알 수 있다. 그림 1의 (a)는 전체 모형의 산정결과를 함께 비교한 것으로 상관계수가 0.359로 얻어졌으며 상대적으로 결과가 잘 일치하는 Wycoff and Singh 모형, Baker 모형, Kessler and Diskin 모형과 Currey and Akan 모형 4가지의 적용결과와 비교한 그래프는 (b)로 상관계수가 0.897로 얻어졌다

모형 중 첫 번째 유형인 저류지 방류구조물을 일정하게 가정하는 경우에 Kessler and Diskin 모형과 Currey and Akan 모형이 대체로 재해영향평가 결과와 잘 일치하는 것으로 나타났다. McEncore 상대적으로 파소 추정되는 경향이 있었으며 대관령 지역과 같이 강우가 큰 지역에서는 음수의 값이 얻어지는 등 적용상 문제가 있는 것으로 보여진다.

두 번째 유형인 저류지 유입수문곡선과 방류수문곡선을 일정한 형태로 가정하는 모형에서는 삼각형 유입수문곡선과 삼각형 방류수문곡선을 가정한 Baker 모형의 결과가 대체로 잘 일치하는 것으로 나타났다. 삼각형 유입수문곡선에 사다리꼴 방류수문곡선을 가정한 Abt and Grigg 모형은 저류지 용량 추정시 과소추정하는 것으로, 삼각형 유입수문곡선과 일정방류수문곡선을 가정한 Aron and Kibler 모형은 과대추정하는 것으로 검토되었다.

세 번째 유형인 다양한 모의자료에 기초한 방법 중에서는 Wycoff and Singh 모형의 적용성이 높은 것으로 나타났다. SCS 방법은 시간분포가 국내에서 널리 사용되는 Huff 방법과 다른 SCS 시간분포를 적용함에 따른 차이로 상당한 차이를 보였다. 미국내 서남부 해안지역에 주로 적용하는 SCS 시간분포-I 을 가정한 모형은 과소추정을, 미국 내륙지역에서 가장 널리 사용되는 SCS 시간분포-II를 가정한 모형은 과대추정 경향을 보였다.

한편 최근에 사전재해영향성검토 등을 통하여 요구되는 저류지의 홍수조절용량은 15,000m³ 이하에 해당하고 있으며, 그림 1의 (b)에서 확인할 수 있는 것처럼 이러한 규모에서의 일치성이 높은 것으로 드러나 개발사업시 본 연구에서 제시한 저류지 용량 결정 모형의 적용성이 높을 것으로 판단되었다.

표 3. 모형별 홍수조절용량의 산정결과

Types of eq. No. of detention	Eq. (1) (m ³)	Eq. (2) (m ³)	Eq. (3) (m ³)	Eq. (4) (m ³)	Eq. (5) (m ³)	Eq. (6) (m ³)	Eq. (7) (m ³)	Eq. (8) (m ³)	Eq. (9) (m ³)	Detention volume (m ³)
1	2,191.2	1,287.9	2,256.2	822.0	1,212.7	10,576.7	1,986.1	1,878.4	1,921.2	2,427.0
2	1,470.0	582.6	1,295.8	470.8	742.7	8,092.5	1,147.4	1,038.0	1,107.0	1,196.0
3	591.6	156.1	454.8	189.1	294.7	3,897.7	406.1	345.5	390.4	507.0
4	261.4	33.9	165.9	107.7	144.0	1,976.8	151.8	103.7	144.4	181.0
5	362.7	50.2	229.9	140.3	192.0	2,194.7	209.6	148.8	199.7	187.0
6	2,476.8	1,024.8	2,348.5	860.9	1,361.9	12,682.3	2,081.3	1,871.7	2,007.4	2,061.0
7	2,052.3	306.5	1,483.8	954.0	1,280.3	11,660.0	1,356.6	932.2	1,291.0	1,117.0
8	9,520.3	1,074.0	6,327.1	4,921.6	6,153.5	49,245.3	5,857.7	3,467.1	5,544.8	4,341.0
9	4,497.9	1,208.6	3,610.5	1,527.8	2,370.5	37,409.7	3,227.3	2,726.7	3,101.1	5,510.0
10	3,934.9	897.0	3,006.1	1,388.9	2,098.6	27,517.9	2,699.1	2,201.2	2,588.6	3,993.0
11	5,888.1	2,965.4	6,118.1	2,191.7	3,415.4	54,915.5	5,406.5	4,961.5	5,221.0	10,921.0
12	13,340.5	2,952.2	10,489.9	5,087.7	7,564.3	91,392.6	9,441.8	7,542.6	9,045.6	11,887.0
13	17,728.9	9,164.2	18,468.9	6,604.5	10,236.2	17,987.6	16,311.2	15,033.8	15,755.7	4,781.0
14	7,046.1	1,001.6	4,734.8	2,976.2	4,027.9	45,870.4	4,322.9	3,014.5	4,116.3	5,740.0
15	8,246.5	1,989.4	6,371.1	2,839.5	4,339.7	47,495.8	5,709.9	4,725.8	5,480.5	6,661.0
16	10,137.8	1,527.3	6,846.5	4,092.6	5,643.4	105,425.9	6,232.4	4,481.2	5,942.0	11,085.0
17	14,834.2	6,766.4	16,248.4	6,060.5	9,607.0	171,801.8	14,419.1	12,843.5	13,899.0	25,229.0
18	24,381.2	97.9	7,582.4	76,581.9	55,887.5	641,303.8	12,991.0	-44,134.4	9,901.8	78,600.0
19	20,497.6	693.9	9,435.5	16,839.9	16,098.6	138,542.7	9,535.3	-967.0	8,705.1	17,300.0

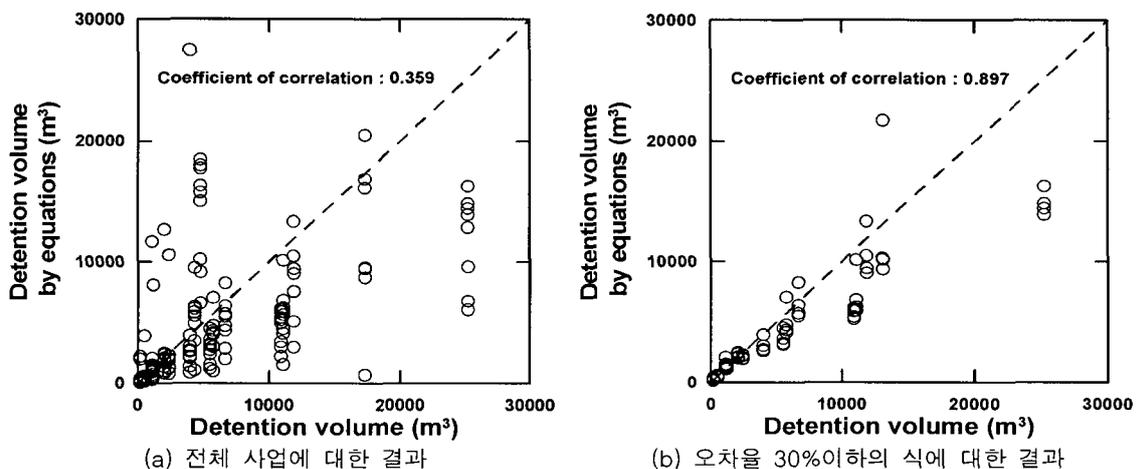


그림 1. 계획된 저류지 용량과 모형별 산정결과의 비교

5. 결 론

본 연구에서는 저류지 홍수조절용량에 대한 다양한 모형을 비교하고, 재해영향평가에서 채택한 저류지 용량을 기준으로 예비설계 모형 도입의 적정성을 검토하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 저류지 홍수조절용량 산정을 위한 모형들을 기존 재해영향평가와 비교한 결과 Wycoff and Singh 모형, Baker 모형, Kessler and Diskin 모형, 그리고 Curry and Akan 모형이 잘 일치하는 것으로 나타났다.
- (2) 재해영향평가에서는 임계지속시간을 고려한 저류지 추적 등을 필요로 하는 등 수많은 계산을 반복해야 하는 등 어려움이 많은 반면 상기에서 소개한 모형은 단순한 공식의 형태로 비교적 산정이 간단하여 예비 설계 목적에서 적용성이 높은 것으로 보여진다.
- (3) 새로이 도입된 사전재해영향성검토의 행정계획단계에서는 개발규모 및 구체적인 설계가 아직 진행되지 않은 단계에서 토지이용계획상 저류지의 소요면적을 산정해야 하는 어려움이 있다. 이때 본 연구에서 제시하는 모형은 이를 이용하여 저류지 소요면적을 산정할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나, 상관성이 높은 식의 경우에도 특정 조건에서는 과소 또는 과대추정의 여지가 있으므로 실시계획시에는 개발계획 및 토목설계에 기초하여 그 저감효과를 확인하고 적정 홍수조절용량을 확보여부를 확인하는 것이 필요하다.
- (4) 금회 수집된 저류지 용량은 산지와 같은 비교적 급경사 지역에서 설치된 저류지를 대상으로 하고 있다. 따라서 향후 완경사, 평지 등에 설치된 저류지 용량을 추가로 수집하여 추가로 적용성을 확인할 경우 국내의 다양한 지형 및 여건에서도 적용가능한 모형을 확립할 수 있을 것으로 판단된다.

이러한 결과는 저류지의 홍수조절용량을 계획하고 평가하는데 있어 앞으로의 발전방향을 검토하는데 유용하게 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

감 사 의 글

이 연구는 소방방재청 자연재해저감 기술개발사업(내배수 홍수분담 최적화 기술개발) 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Abt, S.R. and Grigg, N.S. (1978). "An Approximate Method for Sizing Detention Reservoirs." *Water Resources Bulletin*, Vol. 14, No. 4, pp. 956-961.
2. Aron, G. and Kibler, D.F. (1990). "Pond Sizing for Rational Formula Hydrographs." *Water Resources Bulletin*, Vol. 26, No. 2, pp. 255-258.
3. Baker, W.R. (1979) "Stormwater Detention Design for Small Drainage Areas." *Public Works*, Vol. 108, No. 3, pp. 75-79.
4. Currey, L. and Akan, A.O. (1998) "Single Outlet Detention Pond Design and Analysis Equation." *Water Resources Engineering*, ASCE, Vol. 1, pp796-801.
5. Kessler, A. and Diskin, M.H. (1988). "Storm Water Management Model, Version 4: User's Manual." Department of Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Gainesville, FLA
6. Mays, L.W. (2001). *Stormwater Collection Systems Design Handbook*. McGraw-Hill
7. McEnroe, B.M. (1992). "Preliminary Sizing of Detention Reservoirs to Reduce Peak Discharges." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 118, No. 11, pp. 1540-1549.
8. Soil Conservation Service, (1986). "Urban Hydrology for Small Watersheds." Technical Release 55, Washington, DC: U.S. Department of Agriculture
9. Wycoff, R.L. and Singhm. U.P. (1976). "Preliminary Hydrologic Design of Small Flood Detention Reservoirs." *Water Resources Bulletin*, Vol. 12, No. 2, pp. 337-349.