

# 저류지 홍수추적기법 비교 및 저감효과분석

이종설, 심재현, ○정재학

## 1. 서론

각종 개발사업의 시행으로 인하여 토지이용도가 변화함에 따라 홍수 및 토사유출과 같은 재해요인이 지속적으로 증가하고 있는 추세이며, 이러한 재해요인을 저감시키기 위하여 대부분 홍수조절용 저류지 및 침사지가 계획·시공되고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 저류지 홍수추적기법의 비교 및 저감효과를 분석해 보았다.

저류시설의 형식을 크게 구분하면, 유출량 전량이 일정 저류지를 관통하면서 처리하는 현지내(on-line)형식과 일정 수위이상의 수량만을 차집하는 형태의 현지외 형식으로 구분할 수 있으며, 평상시 저류지내에 수량이 없는 건식(dry)과 상시 일정수위가 유지되는 습식(wet)형식으로 구분할 수 있다.

## 2. on-line 형태 저류지 홍수추적기법의 비교·분석

본 연구에서는 먼저 on-line 형태의 저류지 홍수추적기법을 비교·분석하여 보았다. 이에 가상저류지 및 실제 소유역에 대하여 많이 사용하고 있는 저류지시법(SI : Storage Indication Method), 시행오차법(TE : Try and Error Iteration Method)와 수학적 수치해석추적기법인 2차 정확도 Runge-Kutta법(RK2) 및 4차 정확도 Runge-Kutta법(RK4)을 각각 적용하였으며 다음과 같은 경우에 대하여 분석을 실시하였다.

- ① 해석해와 각 홍수추적기법의 비교를 통한 기법별 정확도 검토
- ② 수위-저류량 산정방법별 비교를 통한 적정 수위-저류량 관계 검토
- ③ 수위-방류량 산정방법별 비교를 통한 수위-방류량 관계 검토
- ④ 설계빈도별 저감효과 검토

### 2.1 저류지 추적기법의 정확도 비교

저류지 추적기법의 정확도 비교를 위해 가상저류지와 실제저류지에 대하여 상기의 4가지 저류지 추적기법을 적용하였다. 먼저는 가상저류지에 2차 정확도 Runge-Kutta법(RK2) 및 4차 정확도 Runge-Kutta법(RK4), 저류지시법(SI), 시행오차법(TE)을 적용한 결과, RK2 기법이 정확도가 가장 낮은 것으로 나타났으며, RK4 기법이 가장 정확도가 높은 것으로 나타났다.

또한, 침투유입량의 발생위치에 따라서는 전방위형과 후방위형이 중앙집중형에 비해 각 방법간의 오차가 커지고 있으며, 지체시간이 짧을수록 오차가 커졌으며, 7개 실제저류지에 4가지 기법을 적용한 결과 RK2 기법이 가상저류지와 동일하게 다른 기법에 비해 큰 편차를 보이고 있는 것으로 나타났다.

가상저류지와 실제저류지에 대한 각 기법별 분석결과 RK2는 정확도가 가장 낮아 가능한 실무에서 적용하지 않는 것이 바람직한 것으로 판단되며, 그의 3가지 기법은 실무적용시 큰 문제가 없는 것으로 분석되었다.

---

\* 행정자치부 국립방재연구소 토목연구관  
\*\* 행정자치부 국립방재연구소 토목연구관  
\*\*\* 행정자치부 국립방재연구소 토목연구사

표 1. 소유역별 침투유출량 비교

(단위 : cms)

구분		소유역1	소유역2	소유역3	소유역4	소유역5	소유역6	소유역7
$I_p$		3.67	1.31	5.97	0.63	2.20	11.42	14.17
S.I.	$Q_p$	3.14	1.10	5.35	0.45	1.96	10.98	10.75
	R.E.	0.32	0.00	0.19	0.00	0.51	0.27	0.09
I.T.	$Q_p$	3.15	1.11	5.39	0.46	1.98	11.08	10.77
	R.E.	0.64	0.91	0.94	2.22	1.54	1.19	0.09
R.2.	$Q_p$	3.12	1.09	5.33	0.45	1.94	10.88	10.74
	R.E.	0.32	0.91	0.19	0.00	0.51	0.64	0.19
R.4.	$Q_p$	3.13	1.10	5.34	0.45	1.95	10.95	10.76
	R.E.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

주) 1. S.I. : 저류지시험, I.T. : 시행착오법, R.2. : 2차 R-K법, R.4. : 4차 R-K법  
 2.  $Q_p$  : 침투유출량, R.E. : 4차 정확도 R-K법에 대한 상대오차

### 2.2 수위-저류량 산정방법 검토

저류량이 수위에 대해 1, 2, 3, 4제곱에 비례하는 경우를 가정하고, 양단면적법(DE)과 절두체 피라미드 공식(FP)에 대해 RK4 기법과 SI 기법을 적용하여 그 결과를 비교하였는데, 수위와 저류량이 선형적인 관계일 때는 DE 공식과 FP 공식 모두 적절한 것으로 나타났고, 제곱에 비례하는 경우 DE공식, 3제곱에 비례하는 경우 FP공식이 적절한 것으로 나타났다.

### 2.3 방류량 산정방법 검토

수위에 따른 흐름조건의 변화와 유량계수의 선정에 의한 영향을 분석하기 위하여 저류지에서 많이 채택하고 있는 연직방류관을 대상으로 분석을 실시하였다.

흐름조건의 변화를 고려한 경우와 고려하지 않는 경우를 비교한 결과 저류지의 침투수위가 천이구간 범위에 있는 경우 아주 큰 편차를 유발하는 것으로 나타났으며, 적용하는 유량계수값의 선정에 따라서도 방류량에는 크게 영향을 미치므로 실무적용시 각별한 주의가 요망된다. 그러나, 현재 방류구조물별 유량계수에 대한 신뢰성있는 기준이 설정되어 있지 않으며, 향후 실측자료나 실험을 통하여 이에 대한 심층적인 연구가 필요하다고 판단되었다.

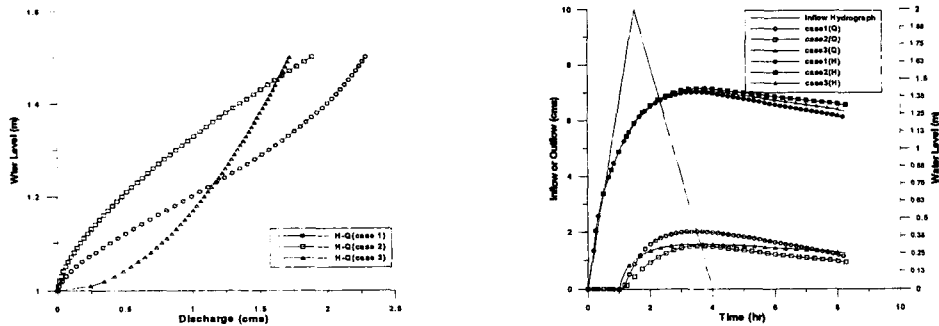


그림 1. 흐름조건의 변화에 따른 수위-방류량 관계곡선(R=0.5, P=1.0) 과 저류지 홍수추적결과(Ip=10 cms)

### 2.4 설계빈도별 저감효과 분석

일선 실무에서는 저류지 설계시 하류부 하천의 설계빈도를 고려하여 저류지의 설계빈도를 하향조정해야 한다는 의견이 제기되고 있다. 이에, 50년 빈도로 설계된 저류지로 50년 이하의 빈도에 대한 개발중 또는 개발후 증가된 홍수량이 저류지로 유입되었을 때, 해당 빈도별 개발전 유출량 이하로 저감할 수 있는지 여부를 검토해 보았으며, 그 결과 저류지 설계빈도 보다 작은 유입량에 대해서도 저감효과를 발휘하고 있는 것으로 나타났다. 따라서, 저류지 설계빈도보다 작은 유입량에 대해서도 저감효과를 발휘하고 있고, 연속된 침수가 발생하는 연속강우사상에서는 침투발생 시간간격이 좁은 경우 저감효과가 크게 저하되고 있는 점을 고려할 때, 저류지의 설계 규모는 과대하지 않다고 판단되었다.

### 3. off-line 형태 저류지의 저감효과 분석

본 절에서는 off-line 저류지의 저감효과 분석을 위해서는 off-line 저류지가 홍수위에 따라 저감용량이 결정되는 저류지이기 때문에 실제 하천흐름인 부정류 흐름을 적절하게 표현하지 못할 것이라 판단되었다. 이에 정상류와 부정류에 대한 홍수위 분석을 통하여 현재 HEC-2 또는 HEC-RAS 모형을 이용한 저류지 설계의 문제점을 살펴보고자 하였다.

#### 3.1 Off-line형태 저류지의 수리학적 양상

일반적으로, 우리나라에서는 하천수위 계산시 첨두홍수량에 의한 정상류 상태의 흐름을 기준으로 하천수위를 계산하고 있다. 그러나 Off-line 형태의 저류지의 경우 하천수위에 의해 저류용량이 크게 달라지기 때문에 단순히 정상류 상태의 흐름만을 가지고 설계할 경우 여러 가지 문제점이 야기 될 수 있다. 이에 정상류 상태의 하천수위와 부정류 상태의 하천수위를 살펴볼 필요가 있게 되었다.

이를 살펴보기 위해 광명시 안양천을 선정하게 되었다. 분석을 위해 하천의 종·횡단면자료는 「안양천 하천정비기본계획, 2000, 건설교통부」를 사용하였으며, 기아대교에서 오금교까지 약 8.3km 구간을 사용하였다.

프로그램 모의를 위해서는 기존에 폭넓게 사용해온 DWOPER(Fread, 1978)과 DAMBRK(Fread, 1980)의 통합모형인 미국 기상청(National Weather Service)의 동역학적 홍수추적 모형인 FLDWAV 모형을 이용하였다. FLDWAV 모형은 부정류의 Saint-Venant 식의 형태를 음해형 유한차분해석에 그 기본을 두고 있으며, 단일수로나 수지형 수로에서의 1차원 부정류해석을 위해 적합한 프로그램으로 판단되었다.

이에, 광명시 안양천에 적용된 유입수문곡선을 사용하였다. 개발중(Under Const.) 최대유량을 1,655cms, 개발전(Before Const.) 최대유량은 1,200cms로 가정하였다.

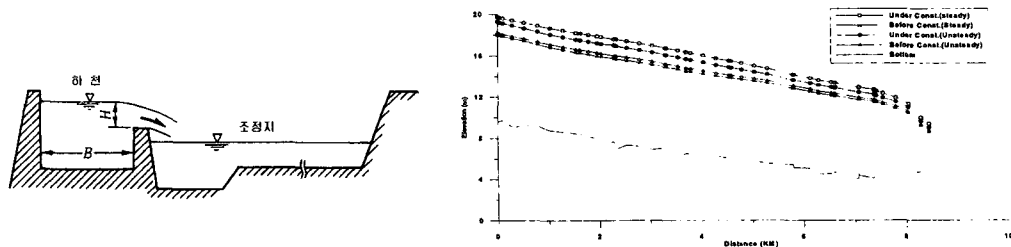


그림 2. Off-line 저류지의 개략도(左) 및 개발전·중의 안양천의 최대 수위양상(右)

그림 2(右)는 안양천에서의 개발전·중 및 정상류와 부정류에 대한 수위양상을 나타내고 있다.

특히, 정상류(steady)와 부정류(unsteady)에 대한 모의를 통하여 실제 흐름과 유사한 부정류 흐름이 흐름 경우와 설계시 일반적으로 사용하는 정상류가 흐름 경우의 차이를 살펴보았다.

그 결과, 개발중의 경우 정상류와 부정류와의 수심의 차는 정상류가 최대 약 69cm의 수심이 높게 나타났고, 개발전의 경우는 정상류가 최대 33cm정도 더 높게 수심을 가지는 것으로 나타났다.

즉, 정상류가 부정류에 비해 수위가 크게 나타나고 있다. 따라서, 정상류 상태의 모의를 통한 off-line 저류지 설계시 저류용량 확보를 위한 월류제방고가 자연상태의 흐름과 유사한 부정류 흐름에 의한 월류제방고보다 높게 산정되어 실질적인 계획저류용량을 확보하지 못하게 된다.

off-line 저류지는 저류용량 확보를 위해서는 월류제방고와 월류폭의 결정이 상당히 중요한 변수인데 월류제방고의 경우 수위가 적절하게 계산되지 못하면 실질적인 저류용량 확보가 어렵게 되기에 좀 더 신중한 수리학적 분석이 요구된다. 이를 위해 부정류 상태에서 적정한 설계수문곡선을 구하기 위한 방법을 살펴보았다.

#### 4.2.3 부정류 상태의 저류지 저감효과

부정류 상태에서 개발에 따른 하천수위에 영향을 미치지 않는 적정 첨두홍수량을 구하기 위한 방안을 살펴보기 위하여, 개발중 유입수문곡선을 1600cms, 1200cms, 1000cms, 800cms, 500cms, 300cms 순으로 첨두유출량을 줄여 보았다. 이러한 유입수문곡선값을 토대로 개발에 따른 영향을 받지 않는 적정설계첨두홍수량

을 FLDWAV 모형을 통해 추적해 보았으며 그 결과는 표 2. 와 같다.

표 2. 침투유출량 변화시 적정 설계침투홍수량의 산정결과

개발중 침투홍수량 (cms) (A)	기존설계 침투홍수량 (cms) (B)	적정설계 침투홍수량 (cms) (C)	C/B
1600	1205.3	1130	0.937526
1200	903.98	850	0.940286
1000	753.31	700	0.929232
800	602.65	560	0.929229
500	376.66	350	0.92922
300	225.99	210	0.929245

상기 표에서는 일반적으로 설계시 개발전 침투홍수량을 사용하므로 기존설계 침투홍수량이라 표현하였고, 저감시설을 통한 저류를 통해 개발하기 전의 하천수위와 동일하거나 낮은 수위를 유지할 수 있는 홍수량을 적정설계 침투홍수량으로 보았다. 표에서 보는 바와 같이 적정설계 침투홍수량은 기존설계 침투홍수량보다 대략 7% 정도 낮은 경우에 개발전보다 비슷하거나 낮은 수위를 나타내는 것으로 모의되었다.

먼저 침투홍수량 감소를 통한 적정 설계 침투홍수량을 산정하였으며, 두 번째로 지체시간이 일정할 경우 기저시간을 각각 4시간, 8시간, 12시간으로 하였을 때와 [지체시간/기저시간]이 일정한 비율로 있는 경우 즉 기저시간의 변화에 따라 지체시간이 변하는 경우 적정 설계침투홍수량을 산정하였다.

표 3. 기저시간 변화시 적정 설계침투홍수량의 산정결과

기저시간	개발중 침투홍수량 (cms) (A)	기존설계 침투홍수량 (cms) (B)	적정설계 침투홍수량 (cms) (C)	C/B	기저시간	개발중 침투홍수량 (cms) (A)	기존설계 침투홍수량 (cms) (B)	적정설계 침투홍수량 (cms) (C)	C/B
4시간	800	513.67	460	0.8955	4시간	800	621	570	0.9178
8시간	800	621.88	580	0.9326	8시간	800	621	580	0.9339
12시간	800	673.21	640	0.9506	12시간	800	621	590	0.9500

(지체시간 일정한 경우)

(지체시간이 변하는 경우)

표 3에서 보는바와 같이 기저시간이 작을수록 적정 설계침투홍수량이 더 작은 값을 선택해야 한다는 것을 볼 수 있다. 이는 대부분의 홍수조절용 저류지가 설치된 하천의 기저시간이 더 짧다는 것을 감안하면 기존 설계침투홍수량보다 더 작은 침투홍수량을 선택해야 할 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 저감시설 설계와 관련된 각종 기법을 비교·분석하고 저류지 규모 결정에 미치는 영향을 검토하여 저감시설 설계시 문제점 및 설계시 각별히 유의해야 할 사항을 도출하고자 하였다.

on-line 형태의 저류지 설계기법을 검토하기 위하여, 해석해와 각 홍수추적기법을 비교하였고, 수위-저류량 산정방법별, 수위-방류량 산정방법별 비교를 실시하였다. 또한, on-line 형태 저류지의 설계빈도별 홍수유입에 따른 저감효과를 분석하였다. off-line 저류지의 적정 설계규모를 검토하기 위하여 저감시설 유무 및 개발상태별 홍수위 및 저감효과 분석을 실시하였으며 off-line 저류방식의 문제점 및 개선방안을 도출하였다.

#### 5. 참고문헌

- 건설교통부, 안양천 하천정비기본계획, 2000.
- 이종설, 심재현, 재해영향평가제도 도입에 따른 치수효과분석, 국립방재연구소, NIDP-99-10, 1999.
- Akers, P. "A Theoretical Consideration of Side Weirs in Stormwater Overflows", Proc. Inst. of Civ. Engrs., vol. 6, no. 2, 1957.
- American Society of Civil Engineers, Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems, ASCE Manuals and Reports of Engineering Practice No.77, pp.65~98, 1992.