

# 도시침수방지를 위한 저류지 모형 확립

## Establishment of the Detention Model for the Prevention of Urban Inundation

박재홍\*, 한건연\*\*

Jae Hong PARK, Kun Yeun HAN

### 요 지

도시 주변의 급격한 택지개발, 도시 인구의 집중, 대규모 계획단지의 개발은 유역의 유출특성에 큰 영향을 주게 되고, 도시화가 진행됨에 따라 불투수 표면이 증가되고 침투율이 감소됨으로써 유출계수의 증가요인이 되고 있다. 이에 따라 유역의 자연 저류지 기능이 저하되고, 우수가 하천으로 유입되는 시간이 단축됨으로써 첨두홍수량 뿐만 아니라 유출총량의 증대를 초래하여 도시 주변의 중소하천 유역에서는 막대한 재산 및 인명 피해가 발생하고 있다. 이러한 도시화로 인해 증가된 유출량을 저감시키는 구조적 방안으로 대부분 강우 유출수를 일시 저류하여 유출량을 조절하는 우수유출 억제시설이 권장되고 있으나, 이들 시설에 대한 수리학적 침수방어능력이 명확히 규명되지 못한 실정이다.

본 연구의 목적은 도시지역 침수방지 대책 수립에 필요한 On/Off-Line 저류지의 평가 및 설계에 기존 부정류 모형들의 모의가능성을 평가비교하고, 가상하도와 실제하도에 적용하여 모형을 검보정 함으로서 저류지 해석의 실용화 모형을 확립함에 있다. 본 연구 결과는 도시지역에 적용할 수 있는 도시홍수방어시스템의 일환으로 구축함으로써, 도시지역에서 저류지 홍수저감효과를 평가하는 등 침수재해와 연계된 구조적 대책 수립에 필요한 기초자료로 활용하고자 한다

본 연구에서 연구된 저류지 모형을 이용하여 On-Line 및 Off-Line 저류지에 적용한 결과 두 종류의 저류지 모두 홍수방어를 위해 이용될 수 있었다. On/Off-Line 저류지 모두 첨두유량이 발생할 경우 어느 정도의 첨두값의 감소를 발생시킬 수 있는 것으로 판단된다. 그러나 저류지 상류단의 수위감소는 저류지로 유출로 인해 저류지 상류 하도부에서 유속의 증가를 발생시켰고 이로 인해 수위는 저류지가 존재하지 않는 경우보다 낮게 나타나고 있다. On-Line 저류지의 경우 Off-Line 의 경우에 비해 수위, 유량이 저류지의 상류단에서 크게 나타났다. On-Line 저류지의 경우 Off-Line 의 경우에 비해 같은 값의 첨두홍수량을 저류하기 위해서 상대적으로 넓은 저류면적이 필요한 것으로 나타난다. 대등한 수위감소값의 홍수저감효과를 발휘하기 위해서 본 연구에서는 On-Line 저류지 면적은 Off-Line 저류지에 비 두배 이상이 필요한 것으로 보여졌다.

**핵심용어 : 저류지모형, 수리학적해석, 도시침수, On/Off-Line 저류지**

### 1. 서 론

도시 주변의 급격한 택지개발, 도시 인구의 집중, 대규모 계획단지의 개발은 유역의 유출특성에 큰 영향을 주게 되고, 도시화가 진행됨에 따라 불투수 표면이 증가되고 침투율이 감소됨으로써 유출계수의 증

\* 정회원-세명대학교 토목공학과 부교수 E-mail : jhpark@semyung.ac.kr  
\*\* 정회원-경북대학교 토목공학과 교수 E-mail : kyhanj@knu.ac.kr

가요인이 되고 있다. 이에 따라 유역의 자연 저류지 기능이 저하되고, 우수가 하천으로 유입되는 시간이 단축됨으로써 침투홍수량 뿐만 아니라 유출총량의 증대를 초래하여 도시 주변의 중소하천 유역에서는 막대한 재산 및 인명 피해가 발생하고 있다. 이러한 도시화로 인해 증가된 유출량을 저감시키는 구조적 방안으로 대부분 강우 유출수를 일시 저류하여 유출량을 조절하는 우수유출 억제시설이 권장되고 있으나, 이 시설에 대한 수리학적 침수방어능력이 명확히 규명되지 못한 실정이다.

본 연구의 목적은 도시지역 침수방지 대책 수립에 필요한 On/Off-Line 저류지의 평가 및 설계에 기존 부정류 모형들의 모의가능성을 평가·비교하고, 가상하도와 실제하도에 적용하여 모형을 검보정 함으로써 저류지 해석의 실용화 모형을 확립함에 있다. 본 연구 결과는 도시지역에 적용할 수 있는 도시홍수방어시스템의 일환으로 구축함으로써, 도시지역에서 저류지 홍수저감효과를 평가하는 등 침수재해와 연계된 구조적 대책 수립에 필요한 기초자료로 활용하고자 한다.

## 2. 저류지 해석을 위한 지배방정식

자연하천에서의 1 차원 흐름을 해석하는 기본 방정식은 연속방정식과 운동량 방정식이다.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_1 = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(VQ)}{\partial x} + gA\left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f\right) = 0 \quad (2)$$

여기서,  $x$ 는 하도를 따른 거리,  $t$ 는 시간,  $Q$ 는 유량,  $A$ 는 하도단면적,  $S$ 는 하도단면적의 비통수면적 부분에서의 저류량,  $q_1$ 은 단위길이당 측방유입량이다.

여기서 식 (1)과 (2)는 비선형 방정식이다. 만약 음해적 유한 차분기법이 곧바로 적용된다면 비선형 차분방정식이 만들어지게 된다. 많은 연구자들이 비선형 방정식을 풀기 위해 Newton-Raphson 반복기법을 도입하였으나 이와같은 반복기법은 하천의 불규칙한 지형적 특징 등으로 수렴성의 문제를 발생시키곤 하였다. 본 연구에서는 비선형해의 생성을 피하기 위해 방정식들을 선형화하는 기법을 도입하였다.

식(1)과 (2)에 적절한 가정사항을 도입하고 음해적 유한차분기법을 이용하여 정리하면 연속방정식과 운동량방정식에 대한 근사화된 유한차분식을 만들 수 있고 미지수들을 왼편 항으로 묶으면 식(3)와 (4)와 같은 벡터식으로 나타내어 질 수 있다(Chen,1973).

$$CQ1_j\Delta Q_j + CZ1_j\Delta Z_j + CQ2_j\Delta Q_{j+1} + CZ2_j\Delta Z_{j+1} = CB_j \quad (3)$$

$$MQ1_j\Delta Q_j + MZ1_j\Delta Z_j + MQ2_j\Delta Q_{j+1} + MZ2_j\Delta Z_{j+1} = MB_j \quad (4)$$

본 연구에서는 저류지는 저류 공간내 수면은 수평하며 저류지에서는 선형 저류-수위 관계식을 가진다고 가정하였으며 저류지에 대한 연속방정식을 이용하고 유량이 측방 여수로통해 유입된다면 비선형 방정식이 만들어지며 이때 비선형항들은 Taylor 급수의 1차 정도 근사화를 이용하였다.

## 3. 수리학적 저류지 해석모형의 적용

본 연구에서는 하천에 인접한 대도시의 홍수방어를 위해 수리학적 기법을 도입하여 저류지를 해석하고 침수예방을 위한 구조적 및 비구조적 대책을 예방코자 하였다. 저류지의 해석을 위해 On-Line 저류지 및 Off-Line 저류지에 대해 본 연구모형을 각각 적용하여 저류지의 홍수 방어능력을 모의하였다.

### 3.1 On-Line 저류지에 대한 적용

과도한 하도의 유량으로부터 도시홍수로부터 도시를 방어하기 위한 대표적 구조적 시설물인 저류지를 이용한 수리학적 해석모의를 수행하였다. 먼저 On-Line 저류지를 이용하여 하도내의 초과유량을 하도내에 위치한 저류지의 저류를 통한 하도유량의 감쇠효과를 해석하였다. 본 모의에 이용된 하천 모식도는 그림 1과 같다. 전체 하천의 단면은 40 개로 단면간 거리는 500 m, 전체 거리는 19.5 Km 이고 하천의 단면 형상은 홍수터를 가진 복단면 사다리꼴 단면으로 가정하였다.

저류지에 저류된 유량을 하류하도로 배수하기 위해 암거와 광정웨어를 설치하였고 표고 195 m 지점에 폭 50 m의 마루를 설치하여 저류된 유량이 하류로 월류되도록 하였으며 극한 홍수를 대비한 표고 200 m 지점에 폭 150 m 를 가진 마루를 설치하여 2 단 마루를 가진 웨어를 설치하였다.

그림 4. 에서는 On-Line 저류지 모의시 나타나는 최대유량 및 최대수위를 도시하였다. 그림 5.19 에서는 저류지 상류부의 유량이 저류지로 유입됨에 따라 저류지의 넓은 수면적으로 인해 수위강하가 발생하였고 이로 인해 저류지 직상류부에서 유속이 증가하여 유량이 증대됨을 알 수 있었다. 그러나 하류부에서는 저류지의 유량저류효과로 인해 하도내 유량의 일부가 저류공간에 저류되어 저류지 하류부의 유량은 저류지의 없을 경우에 비해 작은 유량을 나타내었다. 최대수위의 경우에도 저류지 상류부에서는 저류지에서의 수심감소와 유속의 증대 등으로 인해 저류지가 존재하지 않는 경우보다 낮은 수심을 나타내고 있으며 하류부에서도 저류지에서의 저류효과로 인해 상류부보다 수위차가 더 크게 발생하고 있다.

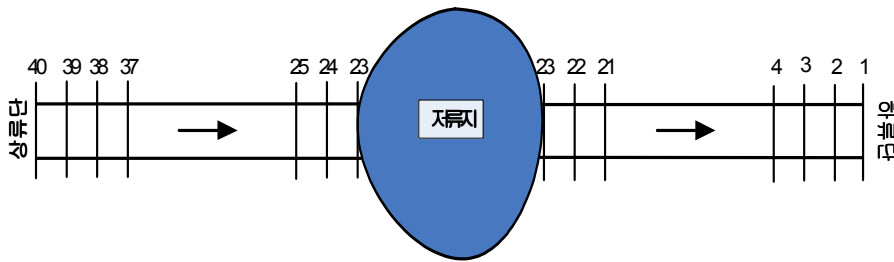


그림 1. On-Line 저류지를 가진 하천의 모식도

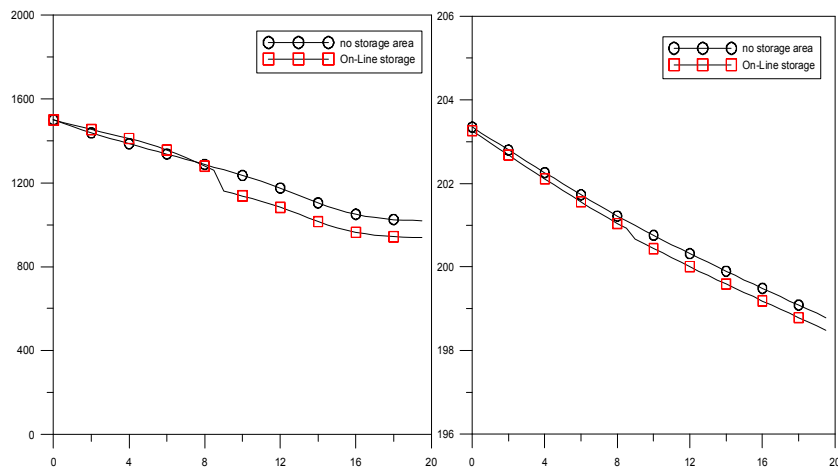


그림 2. On-Line 저류시 단면별 최대유량 및 최대 수위

### 3.2 Off-Line 저류지에 대한 적용

하도에 횡일류 웨어 및 암거를 설치하여 하도내 일정수위 이상의 과도유량을 Off-Line 저류지로 월류시킴으로 홍수를 저감하는 하는 시설인 Off-Line 저류지에 대한 홍수저감 효과를 모의하였다. 그림 5-21

은 Off-Line 저류지가 설치된 하천의 모식도이다. 그림에서 보는 바와 같이 횡월류 웨어 및 암거가 각각 과도유량을 Off-Line 저류지로 배수하기 위한 시설로써 설치되었고 저류지는 두 개의 저류지가 설치되었다. 하천단면과 단면간 거리 및 전구간 거리 등은 On-Line 저류지 모의와 동일하게 적용하였다. 상, 하류단 경계조건 역시 On-Line 저류지 모의와 동일하게 적용하여 상류단에 유량수문곡선, 하류단에 등류조건을 부여하였다.

Off-Line 저류지 모의는 저류지가 없는 경우, 저류지가 하나 있는 경우 측방유출입 시설로서 웨어만 있는 경우와 웨어 및 암거가 존재하는 경우 그리고 저류지가 두 개 있는 경우 4 가지 시나리오에 대해 모의하였다. 저류지가 2 개 있는 경우는 측방유출입 시설은 웨어 및 암거가 모두 있는 것으로 모의하였고 각 저류지의 저류면적은  $350 \times 10^3 m^2$ ,  $100 \times 10^3 m^2$  이다.

각 시나리오별 계산결과는 그림 5.22 - 5.31과 같다. 그림 5.30에서 단면별 최대유량을 도시하였다. 측방유출 발생지점에서 유량이 불연속적으로 감소하는 것을 알 수 있고 측방유출지점의 상류부에서는 수면경사의 증가함으로 인해 최대유량도 증가하고 있음이 보여진다. 그림 3.에서는 최대수위 및 유량을 나타내었다. 상류단 경계에서는 동일한 수위를 나타내고 있으나 하류부로 유하하면서 저류지 단면수위의 영향을 받아 수위가 점차 감소하고 있으며 저류지 단면에서 최대 수위차가 나타내었다가 하류로 유하된다. 저류지의 수 및 횡월류 종류에 따라 수위 및 유량의 차이는 크지는 않았지만 전반적으로 저류지가 2 개 있는 경우에 저류공간이 상대적으로 풍부하여 하도부와 저류지의 수위차를 유지할 수 있었고 그 영향으로 하도에서 상대적으로 하도부에서 낮은 수위와 작은 유량을 나타내어 큰 홍수감쇠 효과를 얻을 수 있는 것으로 판단된다.

### 5.3 저류지 모형 모의결과 비교

본 연구에서 연구된 저류지 모형을 이용하여 On-Line 및 Off-Line 저류지에 적용한 결과 두 종류의 저류지 모두 홍수방어를 위해 이용될 수 있겠다. 표 1.에서는 각 저류지 형태별 하천 지점에서의 최대유량 및 최대수위를 값을 나타내었다. 표에서 나타난 것처럼 On/Off-Line 저류지 모두 첨두유량이 발생할 경우 어느정도의 첨두값의 감쇠를 발생시킬 수 있는 것으로 판단된다. 그러나 저류지 상류 하도부에서 증가된 유량은 저류지에서 발생하는 수위강하로 인한 가속된 유량에 기인하고 있으며 수위는 저류지가 존재하지 않는 경우보다 낮게 나타나고 있다. On-Line 저류지의 경우 Off-Line 의 경우에 비해 수위, 유량이 저류지의 상류단에서 크게 나타났다. On-Line 저류지의 경우 Off-Line 의 경우에 비해 같은 값의 첨두 홍수량을 저류하기 위해서 상대적으로 넓은 저류면적이 필요한 것으로 나타난다. 표에서 보여지듯이 대등한 수위값의 홍수저감효과를 발휘하기 위해서 본 연구에서는 On-Line 저류지 면적은 Off-Line 저류지에 비해 두배 이상이 필요한 것으로 보여졌다

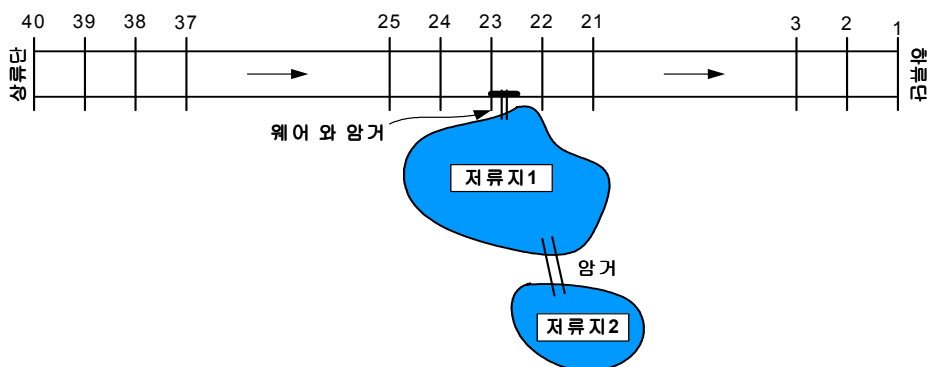


그림 3. Off-Line 저류지 모식도

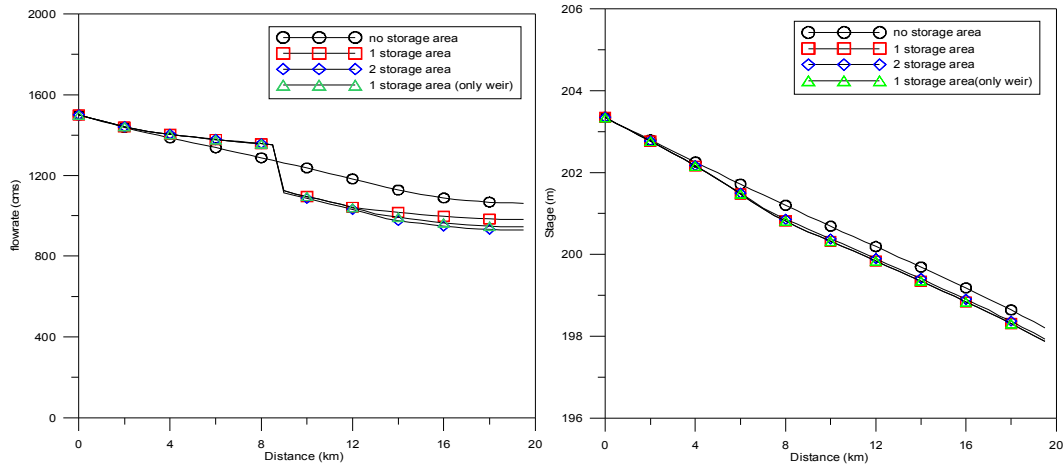


그림 4. Off Line 저류지에서의 최대유량 및 수위

표 1. On/Off-Line 저류지 모의시 지점별 최대수위

단면별 수위 (단위 : m)	저류지 없는 경우	On-Line 저류지	Off-Line 저류지		
			저류지 1개	저류지 1개 (웨어만 설치)	저류지 2개
상류단 경계	203.35	203.26	203.35	203.35	203.35
하류단 경계	198.2	198.49	197.93	197.94	197.87
저류지 직상류	201.07	200.93	200.74	200.76	200.68
저류지 직하류	200.94	200.55	200.50	200.51	200.44
저류지 면적 (단위 : m <sup>2</sup> )	×	800×10 <sup>3</sup>	350×10 <sup>3</sup>	350×10 <sup>3</sup>	350×10 <sup>3</sup> 100×10 <sup>3</sup>

### 감 사 의 글

연구(보고서)는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2005년도 건설핵심기술연구개발사업 (03산학연C01-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구성과입니다

### 참 고 문 헌

1. 한건연, 박재홍(2005). DEM 기반 침수예측모형 개발, 도시홍수재해관리기술연구사업단
2. Chen, Y.H., (1973), "Mathematical Modeling of Water and Sediment Routing in Natural Channels," Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, Colorado State University, Ft. Collins, CO.
3. Hec-Ras User's Manual Versin 3.1 US. Army Corps of Engineers