



A study on the determination of location of the detention pond in trunk sewer for reducing runoff amounts

Lee, Sung Ho^a · Yoon, Sei Eui^b · Lee, Jae Joon^{a*}

^aDepartment of Civil Engineering, Kumoh National Institute of Technology

^bDepartment of Civil Engineering, Kyonggi University

Paper number: 17-015

Received: 14 February 2017; Revised: 7 March 2017; Accepted: 7 March 2017

Abstract

The ability to defend against floods in urban areas was weakened, because the increase in the impervious rate of urban areas due to urbanization and industrialization and the increase in the localized torrential rainfall due to abnormal climate. In order to reduce flood damage in urban areas, various runoff reduction facilities such as detention ponds and infiltration facilities were installed. However, in the case of domestic metropolitan cities, it is difficult to secure land for the installation of storm water reduction facilities and secure the budget for improving the aged pipelines. Therefore, it is necessary to design a storage system (called the detention pond in trunk sewer) that linked the existing drainage system to improve the flood control capacity of the urban area and reduce the budget. In this study, to analyze the effect of reducing runoff amounts according to the volume of the detention pond in trunk sewer, three kinds of virtual watershed (longitudinal, middle, concentration shape) were assumed and the detention pond in trunk sewer was installed at an arbitrary location in the watershed. The volume of the detention pond in trunk sewer was set to 6 cases (1,000 m³, 3,000 m³, 5,000 m³, 10,000 m³, 20,000 m³, 30,000 m³), and the installation location of the detention pond in trunk sewer was varied to 20%, 40%, 60%, and 80% of the detention pond upstream area to the total watershed area (DUAR). Also, using the results of this study, a graph of the relationship and relational equation between the volume of the detention pond in trunk sewer and the installation location is presented.

Keywords: Detention pond in trunk sewer, Regional location, Dimensionless upstream area ratio, Runoff reduction

우수유출저감을 위한 간선저류지 위치선정에 관한 연구

이성호^a · 윤세의^b · 이재준^{a*}

^a금오공과대학교 토목공학과, ^b경기대학교 토목공학과

요 지

도시화 및 산업화로 인한 도시지역의 불투수율의 증가와 국지성 호우로 인하여 도시지역의 홍수에 대한 방어능력이 취약하게 되었다. 도시지역의 홍수피해 저감을 위하여 저류지와 침투시설을 포함한 각종 우수유출저감시설이 적용되고 있다. 그러나 국내 대도시의 경우 우수유출저감시설 설치를 위한 부지 확보가 어렵고 노후화된 관거 개선을 위한 예산확보도 어려운 실정으므로 도심지의 치수능력 향상과 예산을 절감시킬 수 있는 기존 우수관거를 연계한 저류시스템(이것을 간선저류지라 부르기로 한다)의 설계가 필요하다고 판단된다. 본 연구에서는 세 가지 형상(세장형, 중앙형, 집중형)의 가상유역을 대상유역으로 선정하여 기존 우수관거를 연계한 저류시스템인 간선저류지를 유역 내의 임의의 위치에 설치하였을 경우 간선저류지의 용량에 따른 우수유출저감효과를 분석하였다. 간선저류지는 6가지의 용량(1,000 m³, 3,000 m³, 5,000 m³, 10,000 m³, 20,000 m³, 30,000 m³)으로 설정하였고, 우수유출저감효과를 분석하기 위한 저류지의 설치위치는 전체 유역면적에 대한 저류지 상류부 면적의 비를 각각 20%, 40%, 60%, 80%로 변화시키면서 설치위치를 다양하게 적용하여 대상유역의 우수유출저감효과를 분석하였다. 또한 도출된 결과를 이용하여 간선저류지 설치위치에 따른 관계도 및 관계식을 제시하였다.

핵심용어: 간선저류지, 설치위치, 저류지 상류부 면적비, 우수유출저감

*Corresponding Author. Tel: +82-54-478-7616

E-mail: jhb365@kumoh.ac.kr (J. J. Lee)

1. 서론

우리나라는 대도시를 중심으로 꾸준하게 대규모 택지 및 개발 사업이 이루어져 도시지역의 대부분이 불투수층으로 바뀌었으며, 이에 따라 기존에 설계된 홍수 저감시설의 방어능력이 취약하게 되었다. 국지성 호우의 증가로 하천지대 및 저지대로의 유출량이 급격하게 증가되고 있으며, 하수관거의 노후화 및 통수능 부족으로 상습적으로 침수피해가 발생하고 있다. 강우발생으로 인해 도시에 내린 빗물은 대부분 우수관거 시설에 의하여 배수되므로 우수관거의 통수능력은 도시내수 침수 방지를 위한 필수적인 요소라고 할 수 있으며, 최근 들어 우수관거 개선사업, 빗물펌프장 효율개선, 지하저류조 설치 등과 같은 홍수방어 개선을 위한 방안들이 이루어지고 있다. 그러나 국내 대도시의 경우 저류시설 설치를 위한 부지 확보가 어렵고 노후화된 우수관거 교체를 위한 예산확보가 어려운 실정이므로 도시지역에서의 홍수피해를 저감하기 위한 우수관거 및 저류시설의 합리적이고 효율적인 설계 기준이 필요하다. 따라서 동일규모의 강우에서도 우수유출이 증대되고 있는 도시지역에서 원활한 내수배제를 위해 기존의 우수관거를 연계한 저류시스템의 설계가 필요하다고 판단된다.

저류지는 도시지역에서 유역 하류의 홍수피해 저감 및 흐름을 지체시켜 유출률을 감소시키는 역할을 하고 있다. 국외의 저류지에 관한 연구동향을 살펴보면, David and Bedient (1980)는 저류지의 규모결정을 위해 강우와 토지이용조건을 이용하였으며, Russell (1980)은 수정된 유출모형을 이용하여 저류지 형상에 대한 연구를 진행하였고, Guo and Urbonas (1996)는 저류지 규모 산정을 위하여 Runoff Capture Ratio를 사용하였다. 또한 Bohler and Hahn (2005)은 강우빈도에 따른 저류용적의 분석을 위해 HEC-HMS 모형과 TR-20을 이용하였다. Hong *et al.* (2006)은 최적화된 저류지의 용적을 산출할 수 있는 방안을 위해 저류지 계획모형들의 유입 및 유출수 문곡선을 조합하였으며, Hong (2008)은 단일 방류구를 가진 저류지의 최대 용적을 간편하게 설계할 수 있는 방안을 제시하였다.

국내의 경우에는 Lee *et al.* (1991)은 도시화로 인한 유출양상을 나타내는 도시화 인자들이 유수지 용량결정에 미치는 영향을 분석하여 유수지 계획모형을 제시하였으며, Lee *et al.* (1995)은 가상유역 및 실유역을 적용하여 지체저류시설의 크기와 위치를 나타내는 회귀식을 제시하였다. Yoon and Lee (2001)는 임계지속기간에 따른 최대 저류지 용적을 산정하여 저류지의 적정 용량 산정을 위한 방안을 제시하였다. Kim and Ko (2005)는 합리식을 이용한 저류지 계획모형으로 빗물저

류조 규모 산정에 관하여 연구하였다. Lee and Kim (2008)은 저류지의 설치위치에 따라 유출저감효과 및 설치위치 매개변수의 관계식을 제시하였으며, Lee and Kwak (2008)은 저류지 추적을 시행하지 않고 저류지 설계가 가능한 저류지 간편설계기법을 개발하였다. Jang *et al.* (2010)은 저류지 개수와 설치위치에 따른 저류효과를 PondPack 모형을 이용하여 비교분석하였으며, Jang and Lee (2011)는 저류지 방류암거설계를 위한 매개변수들의 상관관계 분석을 통하여 저류지 방류암거의 간편설계기법을 제시하였다. Kim *et al.* (2011)은 강변저류지의 홍수조절 효과를 수리실험을 통하여 분석하였으며, Choi *et al.* (2012)은 배수구역 내 최대 월류량이 발생하였던 확률강우에 대한 유출해석을 통하여 지하저류조의 규모 및 설치위치를 분석하였다. Cho *et al.* (2014)은 강변저류지의 홍수위 저감효과를 도출하기 위해 남한강에 위치한 여주 강변저류지를 대상으로 1차원 및 2차원 모의를 수행하였으며, Lee *et al.* (2014)은 기존에 제시된 저류지 간편설계기법 및 방류암거의 간편설계기법을 통합하여 저류지의 규모를 산정하고 동시에 방류를 위한 암거설계가 가능한 간편프로그램을 개발하였다.

본 연구에서는 도시화, 산업화, 인구집중으로 인해 동일규모의 강우에서도 우수유출이 증대되고 있는 도시지역에서 원활한 내수배제를 위해 기존의 우수관거를 연계한 저류시스템인 간선저류지 개념을 적용하여 저류지의 규모 및 설치위치에 따른 우수유출저감효과를 검토하고 간선저류지 설치위치에 따른 관계를 분석하였다.

2. 간선저류지 설치에 따른 유출저감효과 분석

2.1 간선저류지

우수관거 및 빗물펌프장의 설계빈도 이상의 강우 발생으로 침수가 발생하였을 경우 빗물저류조나 우수유출저감시설

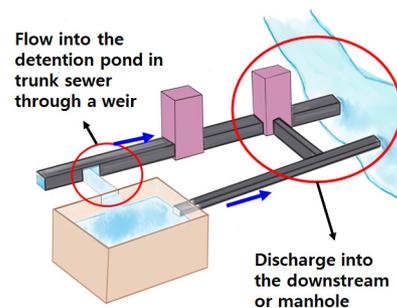


Fig. 1. Detention pond in trunk sewer (Yoon, 2016)

등의 설치로 하류지역의 침수를 저감시킬 수 있으나 수용천 (Receiving Stream)이 근접한 위치에 있는 경우 우회관거를 이용하여 우수를 배출시키는 방안이 가장 효과적일 수 있다. 그러나 도시지역 내 수용천(Receiving Stream)이 인접하지 않거나 수위가 계획홍수위 이상일 경우에는 우회관거를 배수 흐름이 비교적 원활한 지역의 우수관거로 연결시킴으로써 그 효과를 기대할 수 있다. 따라서 간선저류지는 소규모 지하저류지를 이용하여 우수를 지체시킨 후 우회관거를 이용하여 우수를 흐름이 원활한 지역의 우수관거로 우회하여 침수를 저감시킬 수 있는 구조물이라고 정의할 수 있다.

2.2 기본 가정 및 모의조건

본 연구에서는 간선저류지 설계를 위한 지하저류지의 용량 및 설치위치에 따른 유출구의 침두유량 저감효과를 분석하여 최대의 효과를 낼 수 있는 저류지의 용량 및 설치위치를 도출하는데 중점을 두고 연구를 진행하였으며, 저류지의 방류 조건 및 수리현상은 고려하지 않았다.

본 연구에서는 20 ha의 소유역 5개로 구성된 총 100 ha의 면적의 세장형(SF=0.25), 중앙형(SF=0.694), 집중형(SF=1.00)의 3가지 가상유역을 대상유역으로 선정하였다(Fig. 2). 대상유역에 내린 강우는 우수관거를 통하여 유출구로 흘러들어감, 금회 산정된 서울특별시 확률강우량 빈도 10년, 지속기간 60분의 강우를 최대 만관수심의 90%로 통수할 수 있도록 우수관거를 설계하여 본 연구를 진행하기 위해 사용된 EPA SWMM 모형의 입력자료로 활용하였다. 유역의 불투수율은 75%를 적용하여 유역형상에 따른 우수유출저감효과를 분석하였으며, 분석을 위한 강우는 서울특별시 확률강우량 빈도 20년, 지속기간 60분의 강우를 적용하여 우수관거 허용 용량 이상의 강우 발생시 우수유출저감효과를 분석하였다.

유역 내 임의의 지점에 설치되는 간선저류지의 용량은 1,000 m³, 3,000 m³, 5,000 m³, 10,000 m³, 20,000 m³, 30,000 m³의 6 가지 크기로 설정하였으며, 간선저류지의 위치에 따

른 유출저감효과 분석을 위하여 전체 유역면적에 대한 저류지 상류부 면적의 비(저류지 상류부 면적비, DUAR ; Dimensionless Upstream Area Ratio)를 20%, 40%, 60%, 80%로 변동시키면서 분석을 수행하였다(Lee and Kim, 2008).

2.3 간선저류지 설치에 따른 유출저감효과

본 연구에서는 간선저류지 설치에 따른 유출구 지점의 침두유량 저감효과를 분석하였으며, 이에 따라 유출구 침두유량비와 유출구 침두저감량을 사용하였다. Lee and Kim (2008)은 유출구 침두유량비와 유출구 침두저감량을 다음과 같이 나타내었으며, 본 연구에서도 앞선 연구의 용어를 사용하기로 하였으나, 본 연구에서의 저류지는 우수관거에 설치되는 간선저류지를 의미한다.

$$\text{유출구 침두유량비: } \alpha' = Q_{ap}' / Q_{bp}' \tag{1}$$

$$\text{유출구 침두저감량: } \Delta Q_p' = Q_{bp}' - Q_{ap}' \tag{2}$$

여기서, Q_{bp}' : 간선저류지 설치 전 유출구의 침두유량(m³/s)
 Q_{ap}' : 간선저류지 설치 후 유출구의 침두유량(m³/s)

Table 1은 서울특별시 확률강우량 빈도 20년, 지속기간 60분의 강우를 적용하였을 경우 세 가지 유역의 형상 및 간선저류지의 용량에 따른 저류지 설치 전 및 저류지 상류부 면적비에 따라 저류지를 설치하였을 때의 침두유량을 나타낸 것이다. Table 1의 결과와 같이 가상유역의 형상과 관계없이 간선저류지의 용량이 1,000 m³~5,000 m³ 일 경우에는 저류지 상류부 면적비(DUAR)가 40%인 지점에서 침두유량 저감효과가 가장 큰 것으로 나타났으며, 간선저류지의 크기가 일정용량이상이 되었을 경우에는 하류에 설치할수록 침두유량 저감효과가 커지는 것으로 나타났다. 유역의 형상에 따라 침두유량의 차이는 발생하나 DUAR 20% 지점에 저류지를 설치하였을 경우에 비해 DUAR 80% 지점에 설치하였을 때 침두유량 저감효과가 더 커지는 것을 알 수 있다.

3. 간선저류지 설치에 따른 관련변수

3.1 간선저류지 설치에 따른 관련변수 분석

본 연구에서는 간선저류지의 용량 및 설치위치에 따른 우수유출저감효과를 분석하고 있으며, 이에 따라 간선저류지 위치선정에 필요한 관련변수들은 유출구 침두유량비와 유출구

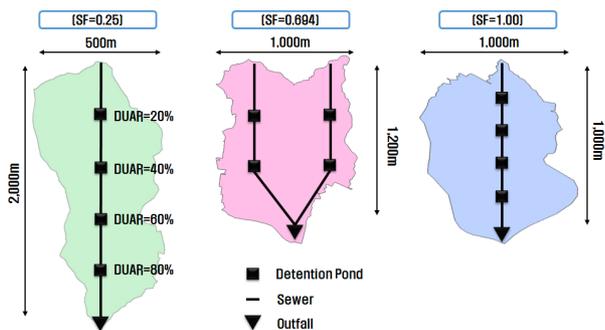


Fig. 2. Basin shape of virtual watershed

Table 1. Peak flow of detention pond location

Basin shape	Volume of detention pond (m ³)	Peak flow (m ³ /s)				
		Not installed	Dimensionless Upstream Area Ratio (DUAR)			
			Installed			
			20%	40%	60%	80%
Longitudinal shape (SF=0.25)	1,000	18.218	17.607	17.330	17.587	17.785
	3,000	18.218	16.254	15.125	15.764	16.413
	5,000	18.218	15.509	13.481	13.915	14.766
	10,000	18.218	14.930	11.881	10.719	11.308
	20,000	18.218	14.731	11.235	8.469	7.316
	30,000	18.218	14.690	11.034	7.942	5.457
Middle shape (SF=0.694)	1,000	13.568	13.117	12.782	-	-
	3,000	13.568	12.032	10.752	-	-
	5,000	13.568	11.509	9.429	-	-
	10,000	13.568	11.107	7.880	-	-
	20,000	13.568	10.965	7.256	-	-
	30,000	13.568	10.938	7.124	-	-
Concentration shape (SF=1.00)	1,000	22.167	21.697	21.520	21.732	21.871
	3,000	22.167	20.406	19.350	20.124	20.708
	5,000	22.167	19.339	17.314	18.158	19.087
	10,000	22.167	18.164	14.087	14.069	15.112
	20,000	22.167	17.548	11.938	10.034	9.937
	30,000	22.167	17.372	11.722	8.330	7.237

침두저감량, 유역저류비, 저류지 상류부 면적비이고, 유역저류비와 저류지 상류부 면적비는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{유역저류비: } S_r' = V_s / Q_a \quad (3)$$

여기서, V_s : 간선저류지 용량(m³)

Q_a : 유출구 유출총량(m³)

$$\text{간선저류지 상류부 면적비: } DUAR = \frac{UA}{A} \times 100(\%) \quad (4)$$

여기서, UA : 간선저류지의 상류부 유역면적(ha)

A : 유역면적(ha)

본 연구에서는 세 가지 유역의 형상에 따라 Fig. 2와 같이 DUAR 20%, 40%, 60%, 80%에 간선저류지를 설치하였을 경우의 침두유량 저감효과를 분석하였다. 유역저류비와 유출구 침두유량비, 유출구 침두저감량의 관계는 Table 2와 Fig. 3에서 보는 바와 같이 세 가지 유역형상에서 모두 유역저류비가 클수록 유출구 침두저감효과가 크게 나타났으며, 유출구

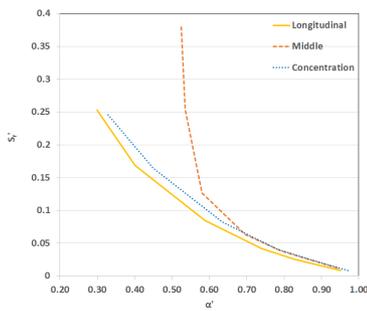
침두유량비는 세장형 유역에서 가장 큰 저감효과를 나타내었고, 유출구 침두저감량은 침두유량의 차이에 따라 집중형 유역에서 가장 큰 저감량을 보이는 것으로 나타났다. 중간형 유역의 경우 간선저류지 설치위치가 20%, 40%로 제한되어 있어 간선저류지 용량에 따른 침두유량의 저감효과가 비교적 작게 나타나는 것으로 사료된다. Fig. 4는 간선저류지 용량에 따른 유출구 침두유량비와 간선저류지 상류부 면적비의 관계를 도시한 것으로 간선저류지 상류부 면적비와의 관계는 이전 절에서 언급한바와 같이 유역의 형상과 관계없이 간선저류지의 용량이 1,000 m³ ~ 5,000 m³일 경우에는 40% 지점에서 가장 큰 저감효과를 보였고, 10,000 m³일 경우에는 60% 지점, 그 이상의 용량을 가질 경우에는 가장 하류지점인 80% 지점에서 가장 큰 저감효과를 나타냈다.

3.2 간선저류지 설치위치에 따른 분석

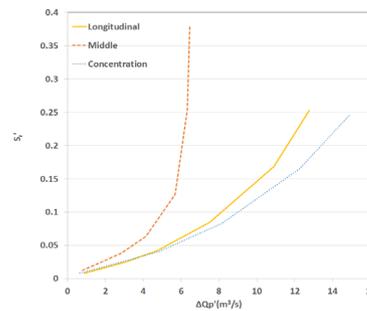
앞 절에서 분석한 바와 같이 유출구 침두유량비와 저류지 상류부 면적비의 관계는 유역형상 및 강우에 관계없이 간선저류지의 용량이 1,000 m³ ~ 5,000 m³일 경우에는 40% 지점에서 가장 큰 저감효과를 보였으며, 10,000 m³일 경우에는 60% 지점, 그 이상의 용량을 가질 경우에는 가장 하류지점인 80%

Table 2. Peak flow ratio and reduction of peak flow for basin storage ratio

Basin shape	Basin storage ratio (S_r)	Dimensionless Upstream Area Ratio (DUAR)							
		20%		40%		60%		80%	
		α'	$\Delta Q_p'$	α'	$\Delta Q_p'$	α'	$\Delta Q_p'$	α'	$\Delta Q_p'$
Longitudinal shape (SF=0.25)	0.0084	0.9665	0.611	0.9513	0.888	0.9654	0.631	0.9762	0.433
	0.0253	0.8922	1.964	0.8302	3.093	0.8653	2.454	0.9009	1.805
	0.0422	0.8513	2.709	0.7400	4.737	0.7638	4.303	0.8105	3.452
	0.0844	0.8195	3.288	0.6522	6.337	0.5884	7.499	0.6207	6.910
	0.1687	0.8086	3.487	0.6167	6.983	0.4649	9.749	0.4016	10.902
	0.2531	0.8063	3.528	0.6057	7.184	0.4359	10.276	0.2995	12.761
Middle shape (SF=0.694)	0.0127	0.9668	0.451	0.9421	0.786	-	-	-	-
	0.0380	0.8868	1.536	0.7925	2.816	-	-	-	-
	0.0634	0.8482	2.059	0.6949	4.139	-	-	-	-
	0.1267	0.8186	2.461	0.5808	5.688	-	-	-	-
	0.2534	0.8082	2.603	0.5348	6.312	-	-	-	-
	0.3802	0.8062	2.630	0.5251	6.444	-	-	-	-
Concentration shape (SF=1.00)	0.0082	0.9788	0.470	0.9708	0.647	0.9804	0.435	0.9866	0.296
	0.0247	0.9206	1.761	0.8729	2.817	0.9078	2.043	0.9342	1.459
	0.0412	0.8724	2.828	0.7811	4.853	0.8191	4.009	0.8611	3.080
	0.0823	0.8194	4.003	0.6355	8.080	0.6347	8.098	0.6817	7.055
	0.1647	0.7916	4.619	0.5385	10.229	0.4527	12.133	0.4483	12.230
	0.2470	0.7837	4.795	0.5288	10.445	0.3758	13.837	0.3265	14.930

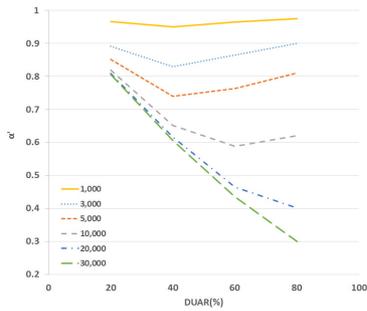


(a) Basin storage ratio - peak flow ratio

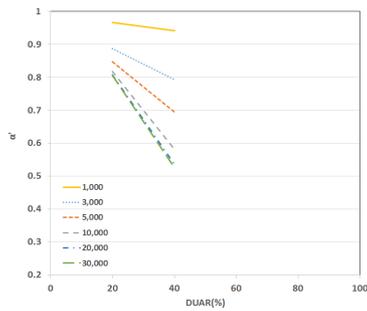


(b) Basin storage ratio - reduction of peak flow

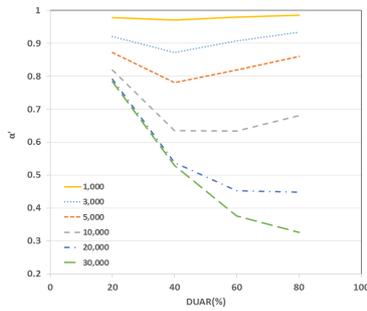
Fig. 3. Relationship of basin storage ratio and peak flow (basin shape)



(a) Longitudinal shape



(b) Middle shape



(c) Concentration shape

Fig. 4. Relationship of peak flow ratio and DUAR

Table 3. Peak flow ratio and DUAR relationship with volume of detention pond

Basin shape	Volume of detention pond (m ³)	Relational equation	Coefficient of determination (R ²)
Longitudinal shape (SF=0.25)	1,000	$\alpha' = 2E-05A^2 - 0.0014A + 0.9866$	0.8330
	3,000	$\alpha' = 6E-05A^2 - 0.0058A + 0.9788$	0.8466
	5,000	$\alpha' = 1E-04A^2 - 0.0104A + 1.0136$	0.9144
	10,000	$\alpha' = 0.0001A^2 - 0.0158A + 1.0849$	0.9999
	20,000	$\alpha' = 8E-05A^2 - 0.0149A + 1.0769$	0.9988
	30,000	$\alpha' = 4E-05A^2 - 0.0125A + 1.0398$	1.0000
Basin shape	Volume of detention pond (m ³)	Relational equation	Correlation coefficient (R ²)
Middle shape (SF=0.694)	1,000	$\alpha' = -0.0012A + 0.9915$	1.0000
	3,000	$\alpha' = -0.0047A + 0.9811$	1.0000
	5,000	$\alpha' = -0.0077A + 1.0015$	1.0000
	10,000	$\alpha' = -0.0119A + 1.0565$	1.0000
	20,000	$\alpha' = -0.0137A + 1.0815$	1.0000
	30,000	$\alpha' = -0.0141A + 1.0873$	1.0000
Basin shape	Volume of detention pond (m ³)	Relational equation	Coefficient of determination (R ²)
Concentration shape (SF=1.00)	1,000	$\alpha' = 5E-06A^2 - 0.0004A + 0.9892$	0.8781
	3,000	$\alpha' = 4E-05A^2 - 0.0032A + 0.9804$	0.8420
	5,000	$\alpha' = 7E-05A^2 - 0.0067A + 0.9931$	0.8063
	10,000	$\alpha' = 0.0001A^2 - 0.0149A + 1.0677$	0.9864
	20,000	$\alpha' = 0.0001A^2 - 0.0199A + 1.1289$	0.9731
	30,000	$\alpha' = 0.0001A^2 - 0.021A + 1.1479$	0.9996

*hear A = DUAR (Dimensionless Upstream Area Ratio)

지점에서 가장 큰 저감효과를 나타냈다. Table 3은 앞서 분석한 간선저류지 용량에 따른 유출구 침투유량비와 간선저류지 상류부 면적비의 관계식과 결정계수를 나타낸 것이다.

4. 간선저류지 설치위치에 따른 관련변수 관계도 검증

4.1 가상유역에 대한 검증

4.1.1 간선저류지의 용량과 유출구 침투유량비

가상유역 중 세장형 유역을 대상으로 간선저류지 설치위

치에 따른 관련변수 관계도 검증을 실시하였다. 유출구 침투 유량비와 간선저류지 상류부 면적비(DUAR)의 관계를 검증하기 위하여 본 연구에서 산정된 관련변수의 관계식을 이용하여 상류로부터 DUAR이 40%인 지점에 간선저류지를 설치하여 유출구 침투유량비가 0.8이 되기 위해서 3,786 m³용량의 간선저류지가 설치되어야 하는 것으로 산정되었다. 관련변수의 관계를 검증하기 위하여 SWMM 모형을 이용하여 상류로부터 DUAR이 40%인 지점에 용량이 3,786 m³인 간선저류지를 설치하였을 경우의 유출구 침투유량을 비교분석한 결과 유출구 침투유량비는 0.789로 산정되어 0.8과 비교적 유사

Table 4. Validate parameter for pond location (volume-peak flow ratio)

Basin shape	Peak flow ratio (α')	Volume of detention pond (m ³)	S_r'	DUAR (%)	Note
Longitudinal shape (SF=0.25)	0.8	3,786	0.0319	40	Relational equation
	0.789	3,786	0.0319	40	SWMM model
	0.8	3,786	0.0319	40	Relational equation
	0.8	3,500	0.0295	40	SWMM model

한 결과를 보이는 것으로 나타났다. 또한 상류로부터 DUAR 이 40%인 지점에서 유출구 침투유량비가 0.8이 되는 간선저류지의 용량을 산정한 결과 3,500 m³으로 산정되어 본 연구에서 제시한 관계식으로 도출된 간선저류지의 용량 3,786 m³과 비슷한 것으로 나타났다(Table 4).

4.1.2 간선저류지의 위치

또한 간선저류지 용량에 따른 간선저류지 설치위치의 관계를 검증하기 위하여 5,000 m³의 용량을 가진 간선저류지를 설치한다고 가정하였으며 관계식에 의해 유출구 침투유량비 (α')가 0.8인 지점은 상류로부터 DUAR 28.1%인 지점으로 산정되었다. SWMM 모형을 이용하여 상류로부터 DUAR이 28.1% 지점에 5,000 m³의 용량을 가진 간선저류지를 설치하였을 경우의 유출구 침투유량비(α')는 0.78로 산정되어 0.8 과 비교적 유사한 값을 나타냈으며, DUAR 24.2% 지점에 간선저류지를 설치하였을 경우 유출구 침투유량비가 0.8로 산정되었다(Table 5). 가상유역에 대한 관계식 검증결과 대체적으로 유사한 결과를 도출하였으며, 유출구 침투유량비와 간선저류지 상류부 면적비(DUAR)의 관계식이 간선저류지 용량에 따른 간선저류지 설치위치의 관계식에 비해 비교적 정확한 결과를 도출하는 것으로 나타났다.

4.2 시험유역에 대한 검증

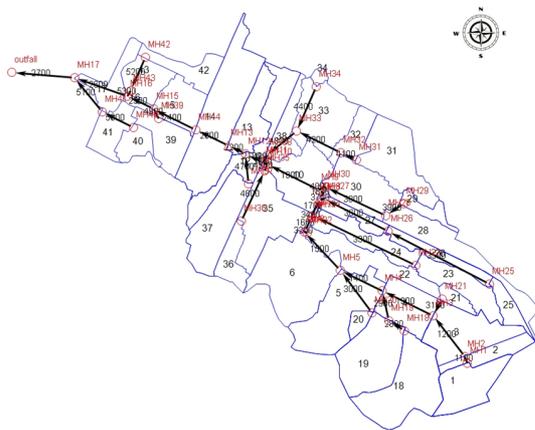
간선저류지 설치위치에 따른 관련변수의 관계도를 검증하기 위하여 서울특별시에 위치한 군자 배수분구를 시험유역으로 선정하여 분석을 실시하였다. 군자 배수분구는 서울특별시에 위치한 중랑천의 좌안 하류에 위치하고 있으며, 유역면적은 96.6 ha, 유로연장 2.15 km, 형상계수는 0.21로 가상유역의 세장형과 유사한 형태이다. 군자 배수분구는 전체 유역면적의 약 75%가 불투수 지역으로 구성되어 있어 본 연구에서 가정한 가상유역의 불투수율 75%와 일치하고 있다. 군자 배수분구의 입력자료 보정을 위하여 서울특별시 상수도연구원 에서 실측한 2010년 6월 12일 강우사상의 유출량 자료를 이용하였다.

SWMM 모형을 이용하여 간선저류지의 용량 및 설치위치에 따른 유출구 침투유량비(α')를 산정한 결과 가상유역의 결과와 같이 간선저류지의 용량이 1,000 m³ ~ 5,000 m³일 경우에는 40% 지점에서 가장 큰 저감효과를 보였으며, 10,000 m³ 일 경우에는 60% 지점, 그 이상의 용량을 가질 경우에는 가장 하류지점인 80% 지점에서 가장 큰 저감효과를 보이는 것으로 나타났다(Fig. 6).

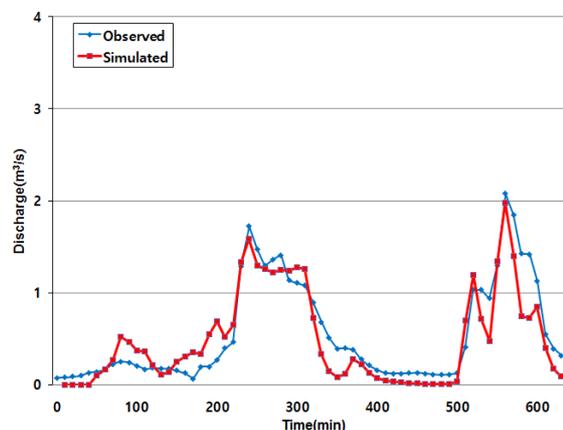
시험유역에 대한 검증을 위하여 가상유역 중 군자 배수분구와 비슷한 형상을 가진 세장형 유역의 관계도 및 관계식을

Table 5. Validate parameter for pond location (peak flow ratio-DUAR)

Basin shape	Peak flow ratio (α')	Volume of detention pond (m ³)	S_r'	DUAR (%)	Note
Longitudinal shape (SF=0.25)	0.8	5,000	0.0422	28.1	Relational Equation
	0.78	5,000	0.0422	28.1	SWMM Model
	0.8	5,000	0.0422	28.1	Relational Equation
	0.8	5,000	0.0422	24.2	SWMM Model



(a) Drainage system of Gunja watershed



(b) Calibration of parameter

Fig. 5. Gunja watershed and comparison discharge

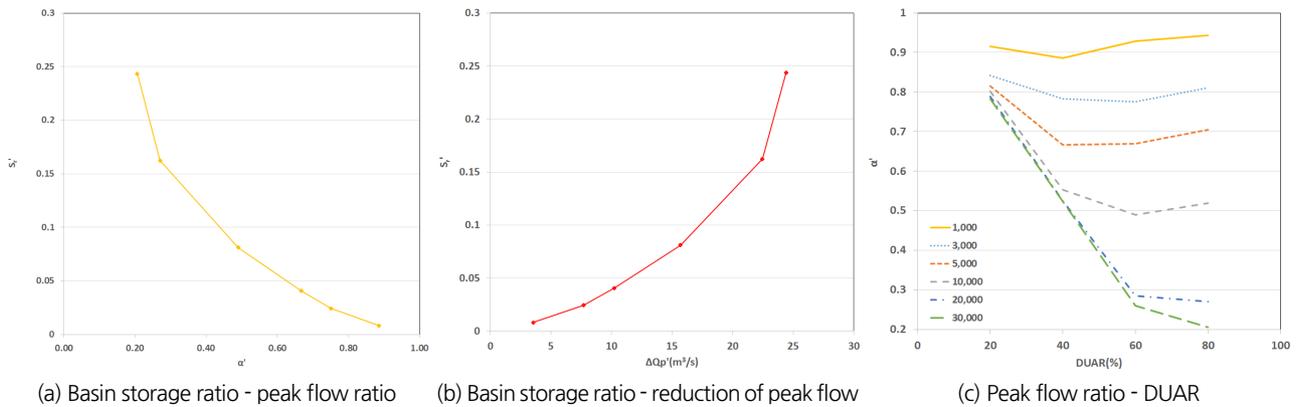


Fig. 6. Relationship of location detention pond (Gunja watershed)

Table 6. Validate parameter for pond location (Gunja watershed)

Peak flow ratio (α')	Volume of detention pond (m^3)	S_r'	DUAR (%)	Note
0.65	10,000	0.0811	35.6	Relational equation
0.617	10,000	0.0811	35.6	SWMM model
0.65	10,000	0.0811	35.6	Relational equation
0.65	10,000	0.0811	30.2	SWMM model

이용하였다. 세장형 유역의 관계식을 이용하여 간선저류지 용량에 따른 간선저류지 설치위치의 관계를 검증하기 위하여 10,000 m³의 용량을 가진 간선저류지를 설치한다고 가정하였으며 관계식에 의해 유출구 침투유량비(α')가 0.65인 지점은 상류로부터 DUAR 35.6%인 지점으로 선정되었다. SWMM 모형을 이용하여 관계식을 통해 선정된 설치위치인 DUAR 35.6%에 용량 10,000 m³의 간선저류지를 설치하였을 경우에는 유출구 침투유량비(α')가 0.617로 선정되어 0.65와 비교적 유사하게 나타났으며, 상류로부터 DUAR이 30.2%인 지점에 간선저류지를 설치하였을 경우 유출구 침투유량비(α')가 0.65로 선정되었다(Table 6). 시험유역에 대한 검증결과 가상유역과 마찬가지로 대체적으로 유사한 값을 도출하였으며, 유출구 침투유량비와 간선저류지 상류부 면적비(DUAR)의 관계식이 간선저류지 용량에 따른 간선저류지 설치위치의 관계식에 비해 비교적 정확한 결과를 도출하는 것으로 나타났다.

4.3 간선저류지의 위치선정

본 연구에서 선정된 간선저류지 설치위치에 따른 관계변수의 관계도 및 관계식을 검증한 결과 가상유역과 실제유역에서 SWMM 모형을 이용하여 선정된 결과와 비교적 비슷한 값이 선정되는 것으로 나타났다. 도시에 발생한 강우를 우수관

거를 이용하여 유출구로 배수하는 유역의 경우 유역 내에 간선저류지를 설치할 경우에는 유출구 침투유량비와 간선저류지 상류부 면적비(DUAR)의 관계를 이용할 수 있으며, 이들 결과는 유역형상에 따라 비교적 큰 차이를 보이지 않아 간편 설계기법으로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

앞서 선정된 관계도를 보면 간선저류지의 용량이 비교적 소규모일 경우에는 DUAR이 40%인 지점에서 유출구의 침투유량 저감효과가 가장 큰 것으로 나타났으며, 일정용량 이상의 경우에는 하류로 갈수록 침투유량 저감효과가 큰 것으로 나타나 간선저류지의 설치위치에 따라 간선저류지의 용량을 다르게 설계해야하며, 일정 침투유량 저감효과를 위한 간선저류지의 설계는 설치위치가 중요한 요소임을 알 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 도시화, 산업화, 인구집중으로 인해 동일규모의 강우에서도 우수유출이 증대되고 있는 도시지역에서 원활한 내수배제를 위해 기존의 우수관거를 연계한 저류시스템인 간선저류지 설치로 인한 우수유출저감효과를 분석하고 저류지의 용량 및 설치위치에 따른 관계를 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 본 연구에서 우수유출저감효과를 분석하기 위하여 사용한 간선저류지는 소규모 지하저류지를 이용하여 우수를 지체시킨 후 우회관거를 이용하여 우수를 흐름이 원활한 지역의 우수관거로 우회하여 침수를 저감시킬 수 있는 구조물이라고 정의 할 수 있다.
- 2) 유역 내의 간선저류지의 설치위치에 따른 관계를 유역형상(세장형, 집중형, 중간형)에 따라 분석하였으며, 유역의 형상에 관계없이 간선저류지의 용량이 소규모일 경우에는 상류에서 DUAR 40%인 지점에서 침두저감효과가 가장 크게 나타났고, 간선저류지의 용량이 일정용량 이상일 경우에는 하류로 갈수록 침두저감효과가 크게 나타났다. 또한 유역형상에 따른 효과는 세장형의 유역에서 유출구 침두저감효과가 비교적 크게 나타났다.
- 3) 가상유역과 시험유역에 대하여 간선저류지의 설치위치에 따른 관계도 및 관계식을 검증한 결과 관계식과 SWMM 모형의 결과가 대체적으로 유사하게 나타났으며, 유출구 침두유량비와 간선저류지 상류부 면적비(DUAR)의 관계식이 간선저류지 용량에 따른 간선저류지 설치위치의 관계식에 비해 비교적 정확한 결과를 도출하는 것으로 나타났다.
- 4) 본 연구에서 도출된 결과를 보면 간선저류지의 용량이 비교적 소규모일 경우에는 DUAR이 40%인 지점에서 유출구의 침두유량 저감효과가 가장 큰 것으로 나타났으며, 간선저류지의 용량이 증가할수록 하류에 간선저류지를 설치할 경우 유출구 침두유량의 저감효과가 큰 것으로 나타나 간선저류지의 설치위치에 따라 간선저류지의 규모를 다르게 설계해야하며, 일정 침두유량 저감효과를 위한 간선저류지의 설계는 설치위치가 중요한 요소임을 알 수 있었다.
- 5) 본 연구에서는 서울특별시 화물강우량 빈도 20년, 지속기간 60분의 단일강우를 적용하여 연구를 진행하였으므로 강우의 규모 및 지속기간을 고려한 연구가 필요하며, 또한 최적화된 간선저류지 설계방안을 제시하기 위한 방류조건을 고려한 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(16AWMP-B066744-04)에 의해 수행되었습니다.

References

- Bohler, B., Hahn, E., Hsu, E., and Rao, A. (2005). "Sensitivity of detention basin volume to rainfall input." *Proceedings of the 2005 World Water and Environmental Resources Congress*, pp. 1-11.
- Cho, K. J., Lee, D. S., and Kim H. J. (2014). "Numerical model application for analysis of flood level mitigation due to retention-basin." *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 15, No. 1, pp. 495-505.
- Choi, H. G., Han, K. Y., Yi, J. E., and Cho, W. H. (2012). "Study on installation of underground storage facilities for reducing the flood damage." *Journal of the Korean Society of hazard Mitigation*, Vol. 12, No. 4, pp. 115-123.
- David, P. S., and Bedient, P. B. (1980). "Detention storage for urban flood control." *Journal of Water Resources Planning and Management Division*, ASCE, Vol. 106, No. WR2, pp. 413-425.
- Guo, Y., and Urbonas. B. (1996). "Maximized detention volume determined by runoff capture ratio." *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 122, No. 1, pp. 33-39.
- Hong, Y. M. (2008). "Graphical estimation of detention pond volume for rainfall of short duration." *Journal of hydro-Environment Research*, Vol. 2, No. 2, pp. 109-117.
- Hong, Y. M., Yeh, N., and Chen, J. Y. (2006). "The simplified methods of evaluation detention storage volume for small catchment." *Ecological Engineering*, Vol. 26, No. 4, pp. 355-364.
- Jang, J. Y., and Lee, J. J. (2011). "A simplified design method of culvert outlet for detention pond." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 44, No. 4, pp. 263-273.
- Jang, I. S., Park, K. B., Lee, M. J., and Lee, J. H. (2010). "Study on determine of detention pond in small developed area." *Journal of Korean Society of Urban Environment*, Vol. 10, No. 3, pp. 253-258.
- Kim, H. J., Bae, D. W., and Yoon, K. S. (2011). "Experimental study for analysis of flood mitigation effect by detention basin." *Journal of the Korea Society of Hazard Mitigation*, Vol. 11, No. 6, pp. 281-291.
- Kim, D. G., and Ko, Y. C. (2005). "A Study on the calculation of storage volume of storm-water detention basins for small urban catchments." *Journal of the Korean Society of Water and Wastewater*, Vol. 19, No. 5, pp. 619-624.
- Lee, J. J., Ahn, J. C., and Kim, B. I. (2014). "Development of simplified computer program for the design of size an culvert outlet in detention pond." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 47, No. 7, pp. 587-598.
- Lee, J. J., and Kim, H. N. (2008). "Analysis of rainfall runoff reduction effect depending upon the location of detention pond in urban area." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*. B, Vol. 28, No. 5B, pp. 535-546.
- Lee, J. J., and Kwak, C. J. (2008). "A development of simplified design method of the detention pond for the reduction of runoff." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 41, No. 7,

- pp. 693-700.
- Lee, J. S., Lee, J. J., Kim, K. H., and Oh, S. H. (1995). "A study on the hydrologic design of detention storage ponds in urbanized area." *Magazing of Korea Water Resources Association*, Vol. 28, No. 3, pp. 159-173.
- Lee, J. T., Yoon, S. E., Lee, J. J., and Yoon, Y. N. (1991). "Planning models for detention ponds with consideration of the urbanization effects." *Journal of Korean Association of Hydrologic Sciences*, Vol. 24, No. 4, pp. 73-84.
- Russell, M. G. (1980). "Analysis of detention basin systems." *Water Resources Bulletin*, Vol. 16, No. 5, pp. 824-829.
- Yoon, H. Y. (2016). *Analysis of the detention efficiency by installation of trunk detention pond in urban areas*. Graduate school dissertation, Kumoh National Institute of Technology.
- Yoon, Y. J., and Lee, J. C. (2001). "Estimation of the stormwater impoundments volume dependent on the durations of design rainfall." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 34, No. 5, pp. 415-426.