

소규모 도시유역 합류식 하수관거 월류수 특성화 및 최적 저류지 용량 결정

조덕준 · 김건하^{*†}

동서대학교 토목공학과
^{*}한남대학교 토목환경공학과

Characterization of Combined Sewer Overflows from a Small Urban Watershed and Determination of Optimum Detention Volume

Jo, Deokjun · Kim, Geonha^{*†}

Department of Civil Engineering, Dongseo University
^{*}Department of Civil and Environmental Engineering, Hannam University
(Received 27 October 2005, Accepted 1 February 2006)

Abstract

Diffuse pollution from an urban area contributes to the significant pollution loading to a receiving water body. In this paper, rainfall runoffs from an urban basin with combined sewer systems located in the city of Daejeon were monitored to measure the rainfall runoff discharge rates and pollutant concentrations. Strong first flush effects were observed for all monitored rainfall runoffs. The first flush effects were closely related to rainfall intensity, while suspended solids were closely related to pollutant constituents. The observed averaged Event Mean Concentrations (EMCs) of Combined Sewer Overflows (CSOs) were 536.1 mg SS/L, 467.7 mg COD_{Cr}/L, 142.7 mg BOD/L, 16.5 mg TN/L, and 13.5 mg TP/L. Storage volumes for containing the first flush to improve water quality of the receiving stream can be estimated based on suspended solid concentration. In this study, retainment of the first flush equivalent to 5mm of precipitation could reduce diffuse pollution loading induced by CSOs to a receiving water body by up to 80% of suspended solid loading.

keywords : Combined Sewer Overflows (CSOs), Diffuse pollution, First flush, Runoff storage, Urban rivers

1. 서론

우리나라 도시지역의 하수 및 우수의 배제는 합류식하수관거(65%)와 분류식하수관거(35%)를 통해 이루어진다(환경부, 2002). 그러나 현재 분류식하수관거가 시설된 지역이라도 신도시 지역을 제외하고는 대부분이 부분분류식으로 이루어져 있기 때문에 도시지역에서의 하수 및 우수의 배제는 대부분 합류식 하수관거 시스템에 의하여 이루어진다. 합류식하수관거의 우수배제는 초기에는 하류간선 또는 구간선 하수관거에 설치된 우수토실(Regulator)을 통해 차집관거로 유입된 후 하수처리장으로 이송되지만, 차집관거 용량 이상의 우수가 발생시에는 차집관거로 유입되지 못하고 직접 방류선 수체로 유출된다. 이와 같은 유출수를 합류식하수관거 월류수 (CSO: Combined Sewer Overflow) 라 한다. CSO에는 우수와 함께 지표면 오염물질, 관거내 퇴적물, 미처리된 하수 등이 함께 유출되기 때문에 건기하수에 비해 수배 이상의 고농도를 나타내며 인접수역으로 직접 배출되므로 하천을 오염시키는 주요 원인의 하나로 알려져 있다(이 등, 1996; Novotny, 1999; Lape et al., 1994). CSO

의 점원/비점원간 분류에 대한 논의가 있는데 미국은 점원으로 간주하여 NPDES (National Pollutant Discharge Elimination System) 또는 SPDES (State Pollutant Discharge Elimination System)에 등록하여야 한다. 그러나 우리나라의 경우는 비점원으로 간주하는 것이 옳다고 생각된다.

강우시 하수처리장에서는 하수도 설계기준에 따라 초기 우수의 일정량 (건기하수처리장 유입유량 Q의 3배 = 3Q)을 받아들여 1차 침전지에서 침전처리 후 2Q는 우회수로를 통하여 방류되고, 1Q는 하수처리공정에서 정상처리 되도록 설계·시공되지만 1차 침전지에 3Q가 유입할 경우 침전되었던 침전물이 재부상하는 등의 여러 가지 문제가 발생하기 때문에 현실적으로 처리가 어려운 실정이라고 한다(박, 2003).

CSO에 의한 강우시 방류부하량을 저감하기 위한 방법으로 분류식 하수관거를 설치하는 방법을 들 수 있다. 그러나 도시지역 강우유출수가 매우 오염되어 처리가 없이 수체에 직접방류는 환경을 더욱 오염시킬 수 있다. 다른 처리방법으로는 차집관거의 용량을 증대시켜 공공수역으로의 방류량을 줄이는 방법, 우수체류지에 초기우수의 일부를 저류하고 강우종료후 처리시설에 이송하여 처리하는 방법, 스월조절조(Swirl regulator)에서 선회류에 의한 고액분리현상

^{*} To whom correspondence should be addressed.
kimgh@hannam.ac.kr

을 촉진하여 고형물을 제거하는 방법, 오염부하를 줄일 수 있는 방법으로는 등이 있다(박, 2003). 또한 CSO의 발생량을 최소화하기 위한 저류시스템도 효과적이나 강우로 인한 비점오염원 유출량의 예측기법이 정립되어 있지 않아 우천시 처리계획에 근본적인 어려움이 있다.

본 연구에서는 합류식 관거가 설치되어 있는 도시 소유역에서 발생하는 강우유출수의 유량 및 농도변화 특성을 파악하고, 이를 기초로 하여 CSO의 발생을 저감시킬 수 있는 체류지의 용량을 산정하였다.

2. 연구구역 및 연구방법

2.1. 연구구역 현황

연구대상구역이 위치하고 있는 대전광역시에는 면적이 53983 ha, 2002년 현재 인구 1,390,510명이며, 2개의 국가하천과 1개의 지방 1급하천인 갑천, 유동천, 대전천이 도심지를 관통하고 있다. 이 3개 하천에는 유성천, 진잠천, 두계천, 정생천 등 총 14개의 소하천들이 유입하게 되며, 이후 금강의 제 1 지류하천인 갑천으로 모두 합류하여 최종적으로 금강으로 흐르게 된다(Fig. 1(a)). 대전시 구역의 특성은 형상계수가 1.0 미만으로 갑천이 0.17, 유동천이 0.12, 대전천이 0.15로 동서로 폭이 좁고 남북으로 긴 장방형 형상을 가지고 있으며, 하상경사는 갑천은 1/2,800, 유동천이 1/720, 대전천이 1/500의 완경사의 특징을 가지고 있다. 대전시 강우유출수의 70% 가량이 합류식 하수관거로 유입하며, 관거는 갑천 하류의 하수처리장으로 연결된다. 하수처리장은 처리용량이 600,000 m³/d인 활성슬러지 공정을 채택하고 있으며, 2005년 현재 영양염류 제거시설은 가동되지 않고 있다. 일반적으로 도시지역의 토지이용특성은 크게 주거용지, 상업용지, 공업용지로 구분될 수 있는데, 대전광

역시 시가화 구역의 토지이용현황은 주거용지 75%, 상업용지 11%, 공업용지 13%이다(대전광역시, 2003).

조사지점의 선정은 구역의 대표성 등을 고려하여 선정하였다. 연구구역의 관거는 합류식이며 인구는 16,289인이다. 구역면적은 136.2 ha, 토지이용현황은 주거지역이 73.4%, 상가 5.5%, 비개발지역 6.8% 및 도로가 14.2%를 차지하고 있어서 대전시 토지이용을 비교적 잘 나타내고 있다. 주거지역의 유출계수를 0.65, 상가지역 0.7, 비개발지역 0.3, 그리고 도로의 유출계수를 0.8로 가정할 때 면적비에 의한 추정유출계수는 0.65이다. 대상구역의 지도 및 직접답사를 통하여 산출한 평균 경사도는 2%이었으며 관망도를 이용하여 산출한 관거의 길이는 2,500 meter였다. 이 구역의 CSO는 대전광역시의 중심부를 관통하는 3대 하천의 하나인 대전천으로 방류된다(Fig. 1(b)).

2.2. 시료의 채취

대상구역의 강우유출수 측정은 2003년 11월부터 2004년 4월까지 5회 실시하였다. 강우량 자료는 시료채취지점으로부터 북북동 방향 2.6 km 떨어져 있는 획득지점 기상청 자료를 사용하였다. Fig. 2는 연구구역 시료채취지점에 설치되어 있는 차집관거 장치를 보여주고 있다. 이는 산지로 둘러싸여 있는 대전시가 강우시 산지에서 발생하는 토사가 하천에 유입되는 것을 방지하는 장치이다. 차집관거 앞에는 협잡물제거용 스크린이 설치되어 있으며 배플을 따라 건기시 하수는 차집관거로 유입된다. 관거위에는 스테인레스판이 현지 및 스프링으로 부착되어 있어 유량이 증가하는 경우 서서히 닫히게 된다. 건기시에는 sampling point #1에서 유량 및 수질을 측정하였으며 강우시에는 sampling point #1, #2에서 유량 및 수질을 측정하였다(Fig. 2(b)). Sampling point #1은 일정한 단면적을 가지고 있으므로 유속계

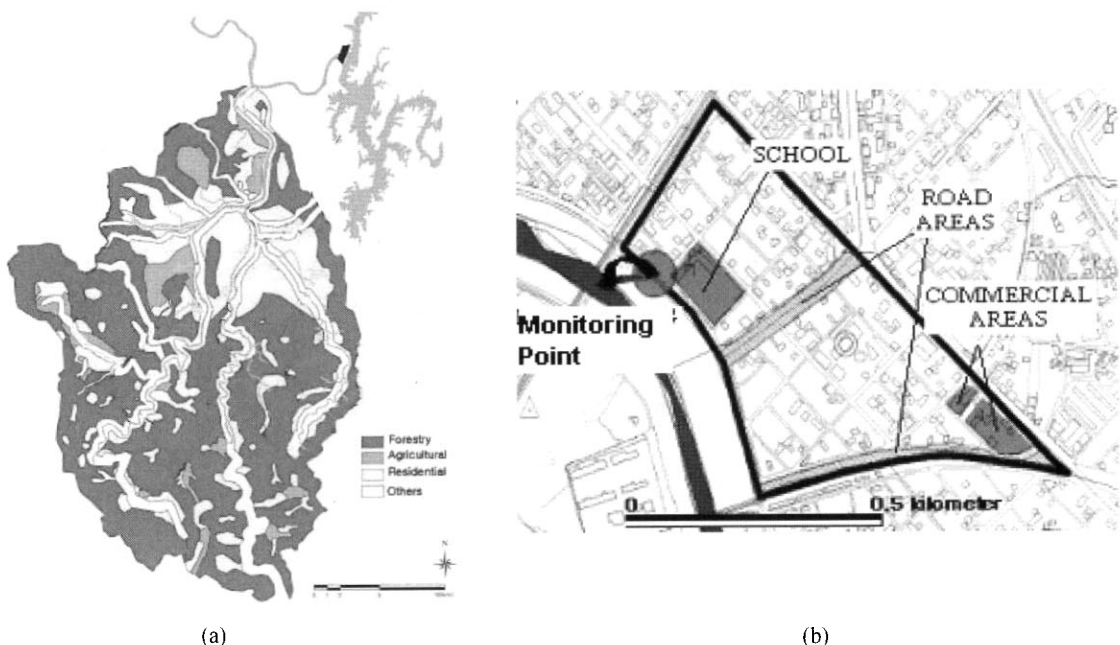


Fig. 1. Studied urban basin: (a) Location of the studied watershed in the Daejeon City, (b) Shape and schematic land use of the monitored urban watershed.

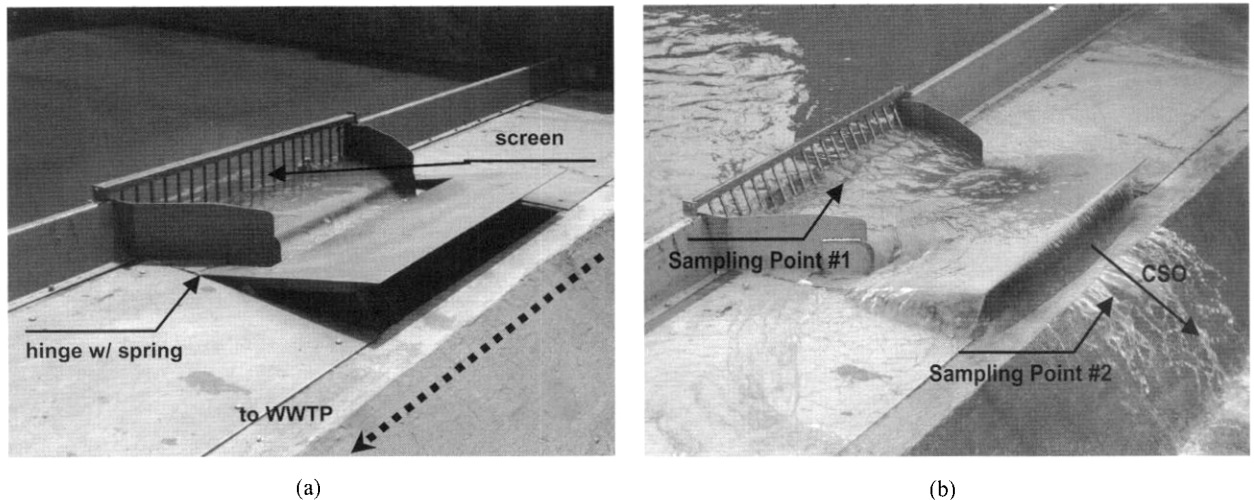


Fig. 2. Photographs of CSOs at the monitoring point: (a) Monitoring point of studied basin during dry weather, (b) Monitoring point of studied basin during wet weather.

(Velocity meter probe, Global Water® FP-101 of Plano Molding Company, USA)를 사용하여 유속을 측정하고 단면적을 곱하여 유량으로 사용하였다. 보조 유속계로 전자파 표면유속계를 병용하였으며 두 자료를 이용하여 측정오차를 줄였다.

측정방법은 건기하수는 24시간 동안 2시간 간격으로 실시하였으며, 유량측정과 동시에 시료를 채취하였다. 채취된 시료는 4°C로 유지할 수 있는 아이스박스에 시료를 보관 후 신속히 실험실로 운반하여 분석을 실시하였다. 유량측정과 시료채취는 강우가 시작되기 전에서부터 강우종료된 후 수위가 충분히 하강할 때까지 측정을 실시하였으며, 유량과 시료채취를 동시에 실시하였다. 측정은 유량이 급격하게 변화하는 유출 초기에는 15~20분 간격으로 측정하였고, 침투유량 이후 수위가 감소하는 시점에서는 30~60분 간격으로 측정을 실시하였다. 한 강우사상당 시료채취 및 유량측정은 10~20개를 실시하였고, 채취된 시료는 건기하수 측정과 동일한 방법으로 보관 후 분석하였다.

2.3. 시료의 분석

채취된 시료에 대한 수질 분석 항목으로는 BOD₅, TCOD_{cr}, Suspended Solid (SS), Total Nitrogen (TN), Total Phosphorus (TP) 항목으로 총 5가지 항목에 대하여 측정을 실시하였다. 수질분석은 Standard Methods(APHA, 1992)와 수질오염 공정 시험법에 따라 분석을 실시하였다. 자료의 분석을 위한 통계처리는 SPSS ver. 12.0K를 이용하였다. 기술통계를 통하여 자료의 개략을 구하였다. 일변량 상관도 분석을 사용하여 부유물질 및 오염물질간의 관계를 구하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 조사 대상 강우

도시지역에서 발생하는 건기하수의 시간별 유량과 수질 특성은 주거지 사람들의 활동시간에 따라 많은 영향을 받

게 되는데, 본 연구유역에서도 오전 10시경에 최대 유량이 나타났고, 활동이 적은 새벽에 최소 유량이 나타났다. 유량의 변화범위는 0.03-0.09 m³/sec이었으며 평균값은 0.05 m³/sec이었다. 유기물질은 유량과 유사한 변동을 보였으나 영양염류는 시간에 따라 큰 변화가 없이 일정한 농도를 나타내고 있어, 하수의 대부분이 생활하수에 의한 유기물이 주를 이루고 있음을 알 수 있었다. 대상유역에서 발생하는 건기하수의 평균농도는 45.8 mg SS/L, 75 mg BOD/L, 247 mg TCOD/L, 14.8 mg TN/L, 10.9 mg TP/L였다.

대상 유역에서 총 5회의 강우사상을 측정하였으며 강우사상의 개략은 Table 1과 같다. CSOs의 발생은 유역경사, 우수토질의 상태와 같은 유역조건의 영향을 받는다. 강우량이 적은 경우는 강우유출수의 대부분이 차집관거로 유입되므로 CSO가 발생하지 않았다. CSO는 측정된 강우사상 중 2차, 3차, 5차 강우사상에서 발생하였으며, 여러 번 측정결과 sampling point #1에서의 유량이 약 0.17 m³/sec 이상이 될 때 시작되었다.

3.2. 합류식하수관거 강우유출수의 유량과 수질변화 특성

Fig. 2는 CSO가 발생한 3개 강우사상에 대한 강우량, 유량, 및 농도변화를 나타내고 있다. Fig. 2에서 도달시간(time of concentration)은 약 40분 - 1시간 내외였다. 도달시간(t_c)은 강우에 의하여 발생된 지표수가 하수관거로 유입되는 유입시간(t_o)과 하수관거를 유하하는데 소요되는 유하시간(t_d)을 합친것으로 유역내의 가장 먼 지점으로부터 유출구까지 도달하는데 소요되는 시간을 의미한다. 유입시간은 다음과 같은 식으로 추정할 수 있다:

$$t_c = t_o + t_d = t_o + \frac{L}{60V} \quad (1)$$

여기서 t_c = 도달시간(minutes), t_o = 유입시간, t_d = 유하시간, L = 관거길이(meter), V = 관거내 속도(m/sec)이다. 유입

Table 1. Description of rainfall events monitored in this research

	1st event Nov. 20, 03	2nd event Feb. 21, 04	3rd event Apr. 1, 04	4th event Apr. 18, 04	5th event Apr. 16, 04
Rainfall depth (mm)	1.5	15	13	8.5	34
Rainfall intensity (mm/hr)	1	1.5	1.7	0.8	2.2
Max. rainfall intensity (mm/hr)	1	3	4	2	4.5
Rainfall duration time (hour)	1.5	10	7.6	10.6	15.4
Antecedent dry days (day)	7	13	14	15	6

시간은 배수로가 없는 상태에서 지표면은 따라 배수로까지 도달하는데 걸리는 시간인데, 하수도시설기준(환경부, 1998)의 유입시간인 7분으로 가정하고, 관거내 유속을 최적유속인 1 m/sec으로 가정할 때(대전광역시, 1999), 연구유역의 도달시간은 48.7분으로 관측치와 유사한 값을 나타내었다.

수질변화는 유량보다 빠른 상승추세가 나타나거나 유량과 매우 유사한 변화를 보였다. 특히 SS, TCOD_{cr}, TN, TP

는 침투유량 이후 유량이 감소하면서 건기하수의 평균농도보다 낮은 농도가 나타났다. 본 연구에서는 강우유출이 시작된 시점으로부터 농도가 건기의 평균농도까지 하락한 시간은 강우에 따라 다소 차이는 있지만 대부분이 60 - 120분 사이에서 측정되었다. 이는 윤(1998)의 연구에서 나타난 60분에 비해 다소 길게 나타난 결과로, 유역에 따라 차이를 보이는 것으로 판단된다.

Table 2. Event mean concentration and total discharged loads of CSOs

	1st		2nd		3rd		4th		5th		Dry Weather
	EMC (mg/L)	Load (kg)	EMC (mg/L)	Load (kg)	EMC (mg/L)	Load (kg)	EMC (mg/L)	Load (kg)	EMC (mg/L)	Load (kg)	Avg (mg/L)
SS	45	72	812	3,243	587	5,300	212	459	208	3,826	48.6
TCOD	199	351	671	2,965	493	5,280	373	866	239	4,311	260
BOD	87	158	198	853	170	1,652	132	314	60	1,199	82
TN	-	-	20.3	91	15.4	145	14.2	40	13.8	272	14.9
TP	8.7	12.8	19.5	81	14.0	131	14.1	34	7.1	133	11.2

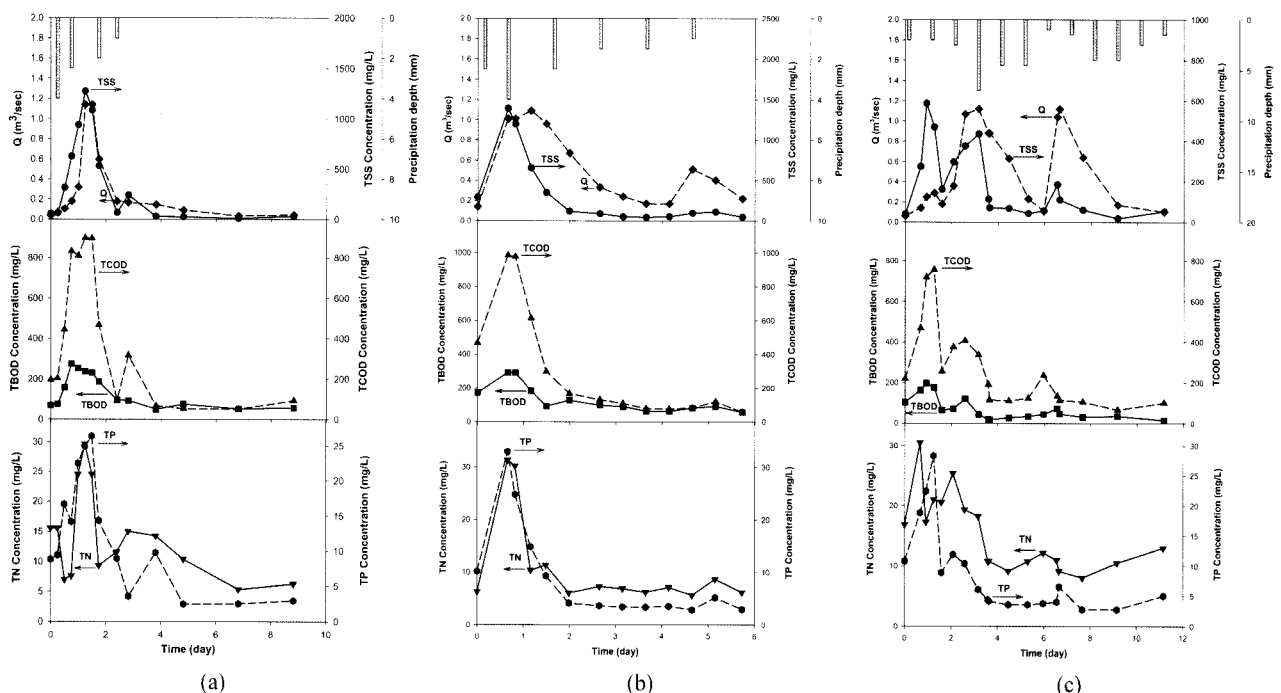


Fig. 3. Precipitation, flow rate and TSS (top), TCOD and TBOD (middle), TN and TP (bottom) for (a) 2nd rainfall event; (b) 3rd rainfall event; (c) 5th rainfall event.

초기세척효과(first flush effect)에 의한 강우초기 고농도 강우유출수가 수체 오염의 주요한 원인으로 지목되고 있으나 본 연구에서는 그 효과가 적었다. 강우사상에 따라서 초기세척 현상이 뚜렷하게 나타나지 않을 수 있고, 배수구역의 특성, 저류능력등에 의해서도 영향을 받을 수 있다(이 등, 2004). 강우유출수의 특성을 나타내기 위하여 EMC(Event Mean Concentration)을 빈번하게 사용한다. EMC는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$EMC_i = \left(\frac{\sum Q_i C_i}{\sum Q_i} \right)_h - \left(\frac{\sum Q_j C_j}{\sum Q_j} \right)_l \quad (2)$$

EMC_i = event mean concentration of contaminant constituent i (mg/L); Q_i = discrete flow coordinated on the event hydrograph at time i (m³); C_i = corresponding concentration on the concentration curves at time i (mg/L); h=high flow; 그리고 l = low flow이다. EMC를 사용하면 특성의 다른 지역의 강우유출수를 간편하게 비교할 수 있는 장점이 있는 반면, 유량자료의 크기에 영향을 받으므로 그 사용에 있어서 주의할 필요가 있다. Table 2는 강우유출수의 EMC 및 부하량을 계산한 것이다. 강우유출수의 EMC는 건기시 농도와 비교하여 상당히 높은 양상을 보이고 있는데 이는 초기강우의 농도가 높은 것이 큰 영향을 미치고 있다. 참고로 합류식 하수관거를 통하여 하수처리장에 유입하는 대표 농도는 70 mg BOD/L, 76 mg SS/L, 15 mg TKN/L, 3.5

mg TP/L이다(최, 1999).

Table 3은 강우유출수 수질간 상관도 분석을 실시한 결과이다. 상관도 분석 결과는 Pearson 계수로 나타나는데 +1은 완전상관, -1은 완전역상관을 나타낸다. 부유물질과 유기물질 및 영양염류간의 상관계수는 상당히 높고 유의한 것으로 나타나 강우유출수의 발생시 오염물질은 부유물질과 결합되어 배출되는 것으로 생각된다(이 등, 2004; 여 등, 2005).

3.3. 저류지 용량 결정

강우유출수를 처리하기 위한 방법으로 저류지의 건설은 유량관리와 수질오염의 저감을 동시에 달성할 수 있는 장점이 있다. Fig. 4(a)는 CSO의 발생을 간략화한 모식도이다. 우기시 소규모 도시구역에서 발생하는 강우유출수 유량(WWF) 중 하수처리장에 유입되는 유량(Ω)은 건기시 유량(DWF)의 3배이므로 이 이상의 유량, 즉 WWF-3DWF는 CSO로 발생되어 하천에 유입된다. 하수처리장에 유입되는 유량은 하수도 시설기준에 따라 1차 침전 후 건기시 유량은 2차 처리되며 나머지는 바이패스 되어 방류된다.

저류지의 용량 결정을 위해서는 과거 장기 연속강우량의 분석이 선행되어야 한다. 대전지역 측후소에서 관측된 1969년에서 2002년까지의 34년간의 연속시간강우량 분석 결과 Table 4와 같았다. Table 4에서 보는 바와 같이 34년간 강우는 총 2,192회 발생하였는데 이는 년 평균 64.47회에 해당되며 1회 평균 강우량은 16.81 mm이고 1회 평균

Table 3. Pearson coefficients from the correlation analysis between water quality constituents

	Q	SS	TCOD	BOD	TN	TP
Q	1.00	.56**	.36**	.41**	.27*	.23
SS	.56**	1.00	.93**	.80**	.69**	.84**
TCOD	.36**	.93**	1.00	.80**	.64**	.90**
BOD	.41**	.80**	.80**	1.00	.46**	.70**
TN	.27*	.69**	.64**	.46**	1.00	.76**
TP	.23	.84**	.90**	.70**	.76**	1.00

*significant at 0.05 level (2-tailed)
N=55

**significant at 0.01 level (2-tailed)

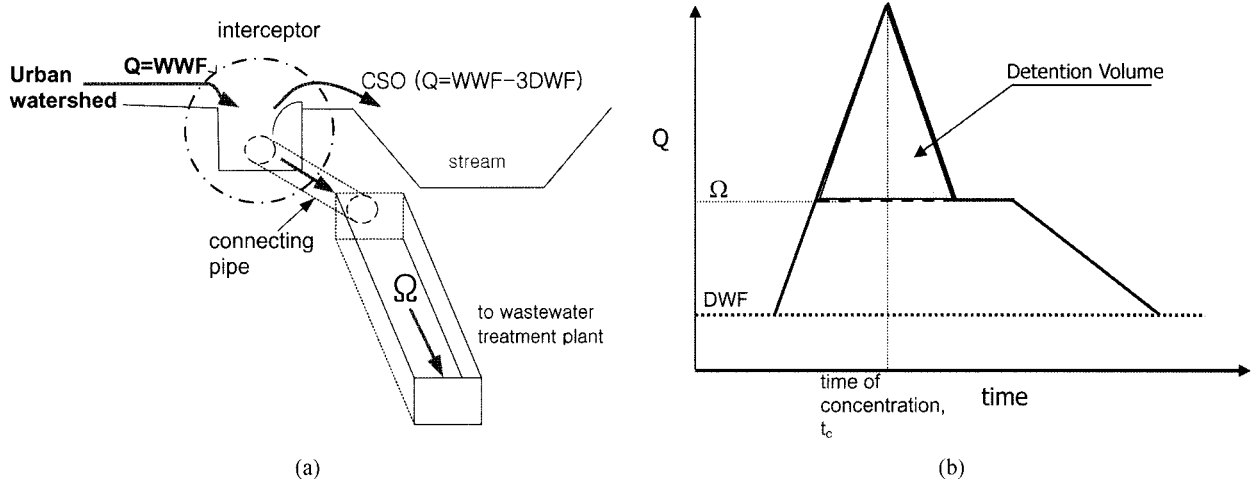


Fig. 4. Conceptual representation of combined sewer overflows and detention basin: (a) Interceptors for combined sewer system; (b) Schematic representation of inflow hydrograph and outflow hydrograph of detention basin.

Table 4. Analysis results of rainfall events history for Daejeon city

Analyzed duration	Number of Rainfall events	Rainfall duration time	Average duration time	Average precipitation depth for an event	Average annual duration time	Annual average for number of events
34 years	2192	20,341 h	9.28 h	16.81mm	598.26 h	64.47

강우지속시간은 9.28 h로서 평균 강우강도는 약 1.81 mm/hr가 된다는 것을 알 수 있다. 한편, 강우 빈도 분포를 분석하면 다음 Table 5와 같았다. 빈도분포 분석결과 강우 분포는 비교적 작은 강우량이 대부분으로 약 65%가 10 mm 이하에 해당되는 것으로 나타났다.

CSO의 유량변화를 Fig. 4(b)에 개념적으로 나타내었다. CSO를 저류하기 위한 저류지 용량은 다음과 같은 식으로 계산할 수 있다:

$$V_d = C I_r A T_d - \Omega T_d \quad (5)$$

V_d = 저류지 용적 C = 유출계수, I_r = r 년 빈도 강우강도 A = 유역면적 T_d = 강우지속시간 = 유출량이다. 강우-유출을 선형으로 가정하면 유역에서의 유출고는 식 (6)와 같이 표현할 수 있다.

$$V_o = C(D - D_i) \quad (6)$$

V_o = 유출고(mm), D = 설계 강우량(mm), D_i = 초기 유출손실고(mm)로서 본 연구에서 초기 유출고는 2.5 mm를 적용하였다(Driscoll et al., 1989). 저류용량 산정을 위하여 강우 유출고의 포착율에 따라서 유역의 유출고(mm)를 차집유량(mm)과 저류고(mm)로 구분하면 다음 Table 6과 같게

된다. 환경부는 초기강우 유출수를 강우초기의 10 mm에 해당하는 강우유출수로 정의하고 있으며 이에 해당하는 용량을 하수처리장에서 물리적 처리과정을 거쳐 수체로 방류하도록 하고 있다. 그러나 10 mm에 해당하는 강우 유출수는 하수처리장에 큰 수리학적 부하가 된다.

앞의 Table 6에서 보는 바와 같이 저류용적을 시간당 5 mm로 한다면 총강우량의 약 95%를 포착할 수 있으며 5 mm를 평균 강우지속시간 동안 저류하는 경우에도 총 강우량의 약 70%를 포착할 수 있다. 여기서 대상유역의 강우유출수(저류고) 기준으로 5 mm는 초기강우량의 약 15 mm에 해당한다.

Fig. 5는 CSO가 발생한 2회, 3회, 5회 강우사상에 대하여 누적유출량과 누적 부유물질간의 관계를 도시하고 있다. 오염물질은 부유물질과 결합된 상태로 유출되므로 저류지의 용량은 부유물질 농도를 저감할 수 있는 크기를 기준으로 하여야 할 필요가 있다. 유량 및 수질 관측 결과를 기준으로 할 때 강우유출수의 5 mm가 저류된다면 발생 부하량의 약 80%를 저감할 수 있다. 저류용적의 결정은 이상의 결과에서 보는 바와 같이 포착율 80% 전후인 8.8 mm에서 결정하는 것이 바람직하며 포착율 약 85%를 초과하는 경우에는 발생강우분포가 급격하게 낮아져 비경제적일 것으로 판단된다. CSOs의 설계는 지역마다 강우량 및 강우지속시간이 다르고 분구마다 차집유량이 변하므로 전국을 동일

Table 5. Recurrence frequency distribution of rainfall event for Daejeon city

Precipitation depth (mm)	Number of rainfall events	Cumulative number of rainfall event	Recurrence frequency (%)	Cumulative frequency (%)
0 - 10	1413	1413	64.46	64.46
10 - 20	272	1685	12.41	76.87
20 - 30	152	1837	6.93	83.80
30 - 40	97	1934	4.43	88.23
40 - 50	61	1995	2.78	91.01
50 - 80	102	2097	1.09	95.67
80 - 160	74	2171	.32	99.04
160 - 390	21	2192	.05	100.00

Table 6. Retention depth for desired capture rate

Capture rate (%)	Precipitation depth (mm)	Inflow (mm)	Retention depth (mm)	Rainfall intensity (mm/hr)	Inflow intensity (mm/hr)	Retention intensity (mm/hr)
64.46	10	4.88	2.09	1.08	0.53	0.23
76.87	20	11.38	8.59	2.16	1.23	0.93
83.80	30	11.88	9.09	3.23	1.28	0.98
88.23	40	24.38	21.59	4.31	2.63	2.33
91.01	50	30.88	28.09	5.39	3.33	3.03
92.88	60	37.38	34.59	6.47	4.03	3.73
94.57	70	43.88	41.09	7.54	4.73	4.43
95.67	80	50.38	47.59	8.62	5.43	5.13
99.04	160	102.38	99.59	17.24	11.03	10.73
100.00	390	251.88	249.09	42.03	27.14	26.84

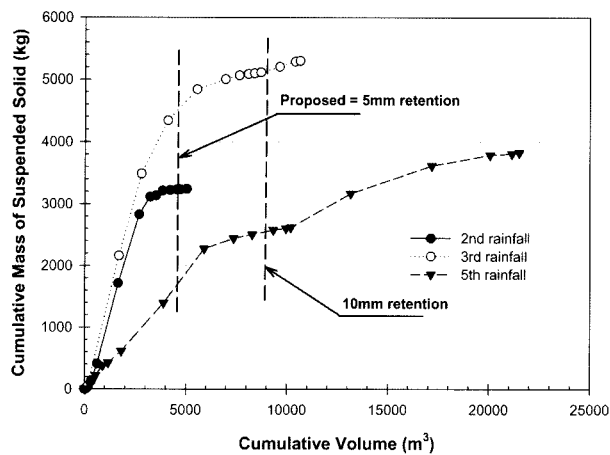


Fig. 5. Cumulative mass of runoff suspended solid vs. cumulative volume curves for combined sewer overflows at studied urban basin.

강우량 기준으로 제시하는 것은 바람직하지 못하다. 본 연구에서와 같은 강우분포 및 평균 강우지속시간 등 강우분석이 전제되어야 하며 강우량이 아닌 강우유출고 또는 유출량을 기준으로 포착율 및 차집량을 고려하여야 한다. 이때 실측에 의한 오염부하량의 예측을 하면 보다 바람직 할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 도시 소유역에서 강우유출수로 인한 영향을 추정하였다. 본 연구의 목적은 다음과 같다: (1) CSOs의 특성 및 부하를 추정 (2) CSOs 초기유출효과의 파악 그리고 (3) 연구유역에서 CSOs를 저류하기 위한 체류지의 설계이다.

합류식하수관거 월류수 특성 조사를 위하여 합류식 하수관거가 설치된 136.2 ha 면적의 도시소유역을 선택하였다. CSO의 평균 EMC는 536.1 mg SS/L, 467.7 mg CODcr/L, 142.7 mg BOD/L, 16.5 mg TN/L, 그리고 13.5 mg TP/L였다. CSOs의 처리를 위한 저류지는 지역별 강우특성과 분구별 차집량이 달라서 일률적으로 동일강우량을 기준으로 하는 것은 부적절하며, 강우유출고를 기준으로 지역마다 강우분석을 전제로 계획되어야 할 것으로 판단된다. 본 연구 대상유역의 경우 강우유출수의 5 mm를 저류한다면, 강우발생량의 약 70%를 포착할 수 있다. 또한 적정 저류용량은 강우유출고 기준으로 포착율 80%인 약 8.8 mm로 판단된다.

사 사

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 지원에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

- 대전광역시, 대전광역시 하수도정비 기본계획 변경보고서 (1999).
- 대전광역시, 도심생태하천조성 학술연구 (2003).
- 박노연, CSOs(합류식 하수관거 월류수) 처리시설의 현황, 대한토목학회지, *대한토목학회*, 51(2), pp. 47-54 (2003).
- 윤현식, 합류식 하수관거 월류수의 오염물질 특성과 처리, 박사학위논문, *한양대학교* (1998).
- 여중현, 김건하, 도시 소유역에서 하수관거 월류수의 배출특성 연구, *대한토목학회논문집*, 25(1B), pp. 254-261 (2005).
- 이두진, 신응배, 강우유출 모델을 이용한 합류식 하수관거 월류수 저류시설의 용량결정에 관한 연구(1), *대한환경공학회지*, 26(3), pp. 362-369 (2004).
- 이종각, 방기용, 이준호, 합류식하수관의 오염물질 유출특성에 관한 연구, *대한환경공학회지*, *대한환경공학회*, 18(10), pp. 1147-1160 (1996).
- 최성현, 최승철, 김병욱, 임재명, 강우시 합류식 하수관거 월류수 차집용량 산정을 위한 유출특성 분석, *상하수도학회지* 논문, 16(3), pp. 320-330 (2004).
- 최의소, *상하수도공학*, 청문각, p. 190 (1999).
- 한영만, 도시유출모형을 이용한 도시화 유역의 유출해석, *한남대학교 대학원 토목환경공학과 석사학위논문* (2001).
- 환경부, 하수도 시설기준 (1998).
- 환경부, 2001 하수도 통계 (2002).
- APHA, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 18th edition, Washington (1992).
- Driscoll, E. D., Palhegyi, G. E., Strecker, E. W. and Shelley, P. E., *Analysis of Storm Events Characteristics for Selected Rainfall Gauges Throughout the United States*, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. (1989).
- Lape, J. and Dwyer, T. J., *Controlling combined Sewer Overflows(CSOs) : EPA's CSO Control Policy*, in Proceeding of the 1994 WERF, Kentucky Tenn., pp. 0-18 (1994).
- Novotny, V., Integrating Diffuse/nonpoint Pollution Control and Water Body Restoration into Watershed Management, *Journal of the American Water Resources Association*, 35(4), pp. 717-727 (1999).
- Park, H., Hyun, I. H. and Park, C. H., Needs and Options of Korea for Integrated Water Management, *Journal of Water Services Research and Technology-Aqua*, 47(2), pp. 57-67 (1998).
- SPSS ver. 12.0K, *User's Manual*, SPSS Inc.
- U.S. EPA *Urban Runoff Pollution Prevention and Control Planning*, EPA/625/R-93/004 (1993).