

## 농촌 소도시의 CSOs 발생패턴분석 및 관리대책에 관한 연구

김영철<sup>†</sup> · 안익성<sup>†</sup> · 이명재<sup>\*\*</sup>

한서대학교 환경공학과

<sup>†</sup>한서대학교 환경연구소

<sup>\*\*</sup>(주) 도담이앤씨

## Pattern Analysis of CSOs Generation in a Small Rural City and Control Schemes

Youngchul Kim<sup>†</sup> · Ik-Sung An<sup>†</sup> · Myung-Jae Lee<sup>\*\*</sup>

Department of Environmental Engineering, Hanseo University

<sup>†</sup>Environmental Studies Institute, Hanseo University

<sup>\*\*</sup>DODAM Engineering and Construction Co., LTD.

(Received 12 April 2007, Accepted 5 July 2007)

### Abstract

In this study, combined sewer overflows (CSOs) from five independent rainfall events in rural city area were collected and investigated. First flush effect in sewage pumping station located near the WWTP was retarded 30 to 60 minutes from booster pumping station. The ratios between SS, COD and TP concentrations prior to rainfall and peak concentrations during the period of rainfall were highly increased but nitrogen was relatively constant, which indicates that it is not associated with particles washed off from the surface of watershed. Mass balance results show that 30% of CSO was generated from booster pump station and 66.5% of CSO was from the whole runoff area. In the area of newly constructed sewer system, CSO problem was related with pump and sewer capacities, but in other old sewer system equipped area, it was due to the collection efficiency. Finally, Log-Log pollutant rating equations were suggested.

**keywords** : Combined Ssewer Overflows (CSOs), First-flush effect, Sewer system

### 1. 서론

최근 환경부에서는 국립환경연구원 등의 연구결과를 토대로 전국 주요 하천수계에 오염총량관리제를 추진하고 있다. 이와 관련해서 정부와 지자체는 수계 오염 부하량을 감소시키기 위해 축산처리시설, 중소도시 하수처리장 증설 및 개량, 소규모 마을하수도를 포함한 '점오염원' 관리에 집중하고 있다. 그러나 최근 국내발표 자료에 따르면 홍수나 빗물에 섞여 유출되는 '비점오염원'이 4대강 수질악화 요인의 37%를 차지하는 것으로 나타났다(환경부, 2005). 비점오염원은 양식장, 농경지배수, 도시노면배수 등과 같은 광범위한 배출경로를 갖는 오염원으로 점오염원에 비해 인위적으로 관리하는데 어려움이 따른다. 특히 도로포장이 잘 돼 있는 도시일수록 비점오염물질의 이동이 쉬워 관리가 필요하다.

합류식 하수관거시설을 갖춘 도시의 경우 도시에서 배출되는 생활오수를 하수관거를 통해 차집 후 이를 처리하는 점오염원 특성을 보이지만 강우 발생시 초기에 일시에 배출되는 초기세척(first flush) 현상이 두드러져 건기 하수에

비해 많게는 수배가 넘는 오염유출이 발생하게 된다(Vladimir Novotny et al., 1994). 합류식 하수관거에서 우천시 하수처리장으로 일정량(통상적으로 건기유량의 3Q)을 보내기 위하여 설치되는 우수토실에서 차집되지 못한 하수는 월류되어 직접 수계로 유출되는(Combined Sewer Overflows: CSOs) 비점오염원 특성을 보인다. 이때의 농도는 배수유역이 지표면 개발 정도, 토지이용 상황, 청결도, 강우강도 및 강우지속기간 등에 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Tchobanoglous, 1981, 1991; WEF et al., 1992).

국내 합류식 하수처리시설기준에 따르면 강우 발생시 1차 침전지에서 3Q(Q:시설용량) 처리후, 2Q는 by-pass 시키고 1Q는 하수처리공정에서 정상 처리되도록 설계, 시공되고 있으나 1차침전지에서 3Q 유입시 침전되었던 침전물이 재부상하는 등의 문제로 인하여 실제 하수처리장 운전 적용하기에는 어려운 실정이다(환경부, 1998). 이러한 이유로 강우시 차집관거의 용량을 초과할 때뿐만 아니라 3Q 이하로 유입될 상황에서도 우수배제를 위해 월류 조절을 실시하고 있다.

여러 가지 상이한 오염원으로부터 배출되는 주요 수질 오염물질에 대해 평가한 미국 EPA(1993) 분석 자료에 따르면 CSOs로부터 배출되는 오염물은 산성물질을 포함한 다양한 오염물질이 포함되어 있으므로 다른 모든 점

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.  
ykim@hanseo.ac.kr

오염원을 적절히 관리하여도 CSOs를 효과적으로 제어하지 못한다면 성공적인 수질관리는 달성될 수 없음을 보여준다.

미국의 경우 1987년 ‘오염물질 삭감시스템 허용기준’에서 CSOs 처리가 언급되었고, 1989년 발표한 ‘National CSOs Control Strategy’에서는 국가 전체에 산재되어 있는 15,000~20,000 개소의 CSOs 발생지점을 NPDES(National Pollution Discharge Elimination System)에 근거하여 방류허가를 취득하도록 규정하였다. 또한 1994년 CSOs 제어를 위한 9가지 최소기준(Nine minimum control)을 마련하였고 장기적인 관리계획(Long Term Control Plan: LTCP)을 수립하였다(Field et al., 1993).

일본에서는 1982년 공표된 ‘CSOs 저감을 위한 시범지침과 설계 매뉴얼’에서 CSOs 저감목표를 연간 발생 BOD 부하량의 5%미만으로 저감시킨다는 정책을 수립하여 여러 대안을 제시하고 있다.

국내의 경우 1998년 개정된 하수도 시설기준에서 차집관거 용량증대, 우수체수지, 스월조절조, 실시간제어방법 등의 월류수 대책을 제안하고 있다. 하지만 이러한 관리대책이 수립되어 있음에도 불구하고 실질적으로 CSOs에 대한 규제기준이 없기 때문에 적절한 관리가 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 본 연구의 목적은 소도시 CSOs 발생, 오염물질 농도 특성을 사례 분석하고 그에 따른 장·단기적 대안을 제시하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

합류식 하수관 월류수 조사지역은 인구 10만 규모의 K시 하수처리구역으로 차집관로 길이 및 환경은 Table 1, 위치도는 Fig. 1과 같다. CSOs의 조사지점은 K시 하수처리장 증계펌프장(구도심지역-배수면적: 322.5 ha)과 유입 펌프장(배수면적: 885.4 ha)이었다. K시는 평야지대에 위치한 도농 복합도시로 증계펌프장 배수면적을 제외하고는 자연유하식으로 하수+우수가 하수처리장으로 유입된다.

K시 하수처리구역에 대한 조사기간은 Fig. 2에서와 같이 2003년 8월에서 10월 사이에 2 point sampling site 별로 5회에 걸쳐 CSOs 발생 특성에 대하여 조사하였다(#1~#5). 문헌에 자료에 따르면 강우량 2.5 mm 이하의 강우는 CSOs 발생에 큰 영향을 주지 않는다고 보고되었기에 조사에서 제외하였고, 야간강우, 소나기성 강우와 같이 초기강우를 적시에 채수하지 못한 경우 부득이하게 조사에서 제외하였다.

강우시 합류식 하수관 유출수의 시료채취는 강우시작 후부터 이루어졌으며 가급적 시간간격이 일치하도록 취사선택하였고 강우사상 당 시료 수는 연속적으로 최소 15회 이상이 이루어지도록 하였다. 또한 Fig. 3에 제시된 것과 같이 시간에 따른 샘플링 빈도를 달리하여 강우 초기에 의한 CSOs 영향을 집중적으로 모니터링 하였다.

Table 1. Sewage system in K city

Item	K city sewer line					Total
	A	B	C	D	E	
Diameter (mm)	300~1,500	450~1,000	300	800	600~800	300~1,500
Length (km)	7.72	4.55	1.45	1.70	0.92	16.34

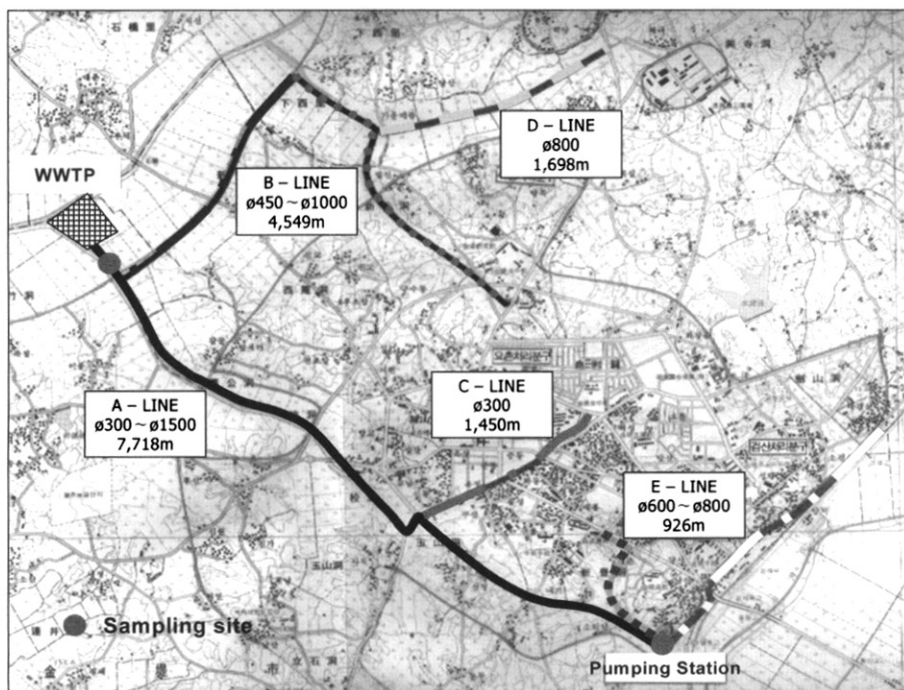


Fig. 1. Sewer line, pumping stations and sampling sites.

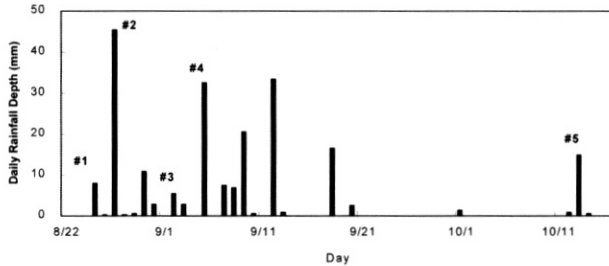


Fig. 2. Investigated rainfall events and daily rainfall depth.

유량은 하수처리장 유입펌프장과 증계펌프장에 설치된 자동 수위-유량계의 수치를 활용하였다. 합류식하수관 유출수 수질분석항목은 pH, DO, Alkalinity, Electrical Conductivity, SS, COD(용존 포함), TN, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, TP, PO<sub>4</sub>-P, 그리고 지표미생물 총대장균 군(total coliform)과 분변성 대장균(fecal coliform)을 분석하였다. 시료의 분석은 수질오염 공정시험법(환경부, 1999)과 Standard Methods(APHA et al., 1998)에 따랐다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 오염물질 농도곡선 (pollutograph)

Fig. 4는 용존산소(DO), 알칼리도, 그리고 전기전도도(EC)의 변화를 나타내었다. 그림에 나타난 것처럼 차집관 거로 빗물의 유입으로 인한 희석효과로 EC와 알칼리도는 크게 감소하였다. 이와 반면에 유입 펌프장 용존산소 DO는 건기시 0.3 mg/L에서 초기강우효과로 감소하였다가 3 mg/L까지 증가하였다. 이러한 경향은 정도에는 차이가 있었지만 모든 조사에서 비슷하였다.

Fig. 5에는 1차 조사(#1)로부터 얻은 합류식 하수관 유출수의 SS, COD (SCOD), TN, NH<sub>3</sub>-N, TP, 그리고 지표미생물의 시간적 분포를 나타내었다. 그림에 나타난 것처럼 모든 항목에서 초기강우효과가 나타났으나 초기강우효과의 종료와 함께 희석효과가 나타났다. 이러한 경향은 선행강우 일수와 강우강도에 따라 차이가 있었지만 모든 조사에서

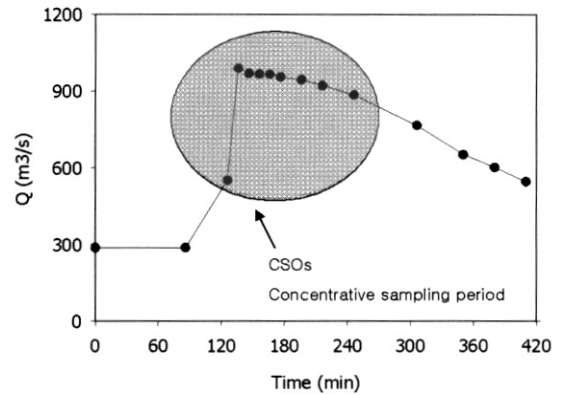


Fig. 3. Sample hydrograph indicated sampling intervals.

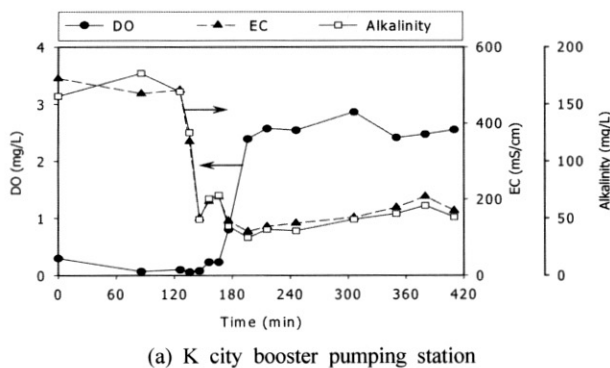
유사한 경향을 보였다.

Fig. 5에서 강우 발생 후 K시 증계펌프장(120분 전후)과 유입펌프장(180분 전후)의 시간에 따른 농도곡선을 비교해보면 초기강우효과가 30~60 min 정도의 시차를 두고 발생하는 것을 알 수 있다. 이러한 분석 자료를 근거한다면 K시의 경우 오염물질 농도가 높은 초기세척수(first flush)를 적절하게 처리하기 위해서는 증계펌프장에서 전송되는(수질-유량자료) 초기세척수 영향이 급격히 감소되는 시점 보다 최소한 30~60분 경과 후부터 by-pass를 실시하여야 CSOs로 인한 방류하천 오염을 최소화할 수 있다고 판단된다.

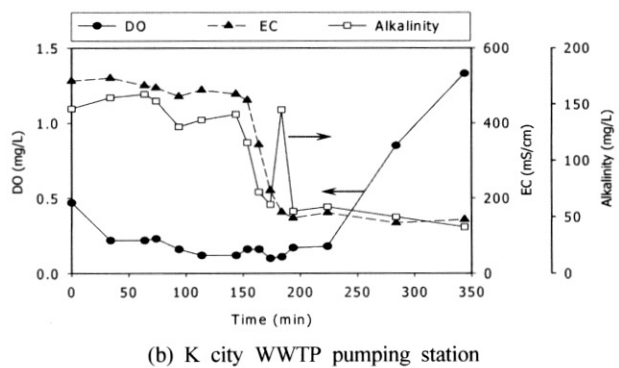
Table 2~3에는 증계펌프장과 유입펌프장에서 조사한 합류식 하수관 유출수의 수질특성을 수문자료와 함께 요약하여 나타내었다.

Table 2, 3에 정리된 자료 중 강우전유량(Qb), 강우평균유량(Qa), 강우최대유량Qp와의 관계를 비교해 보면 샘플링 #1, #4에서 강우평균유량(Qa)과 강우최대유량(Qp)이 다른 조사에 비해 상대적으로 높게 나타나는데 이는 #1, #4에서 강우강도가 다른 샘플링 시점에 비해 높았고 강우지속시간 동안 강우강도 변화도 컸음을 알 수 있다. 또한 증계펌프장과(BPS)와 하수처리장 내 펌프장(WWTPPS)에서 #1, #4에서 근사한 값을 보이는데 이는 시설 한계용량에 근접하게 유입되었기에 시설물 보호를 위해 by-pass를 실시하였기 때문으로 조사되었다.

Table 2, 3에 자료 중 강우전 농도(Cb)와 침투농도(Cf)



(a) K city booster pumping station



(b) K city WWTP pumping station

Fig. 4. Combined sewer overflow-DO, alkalinity, electrical conductivity.

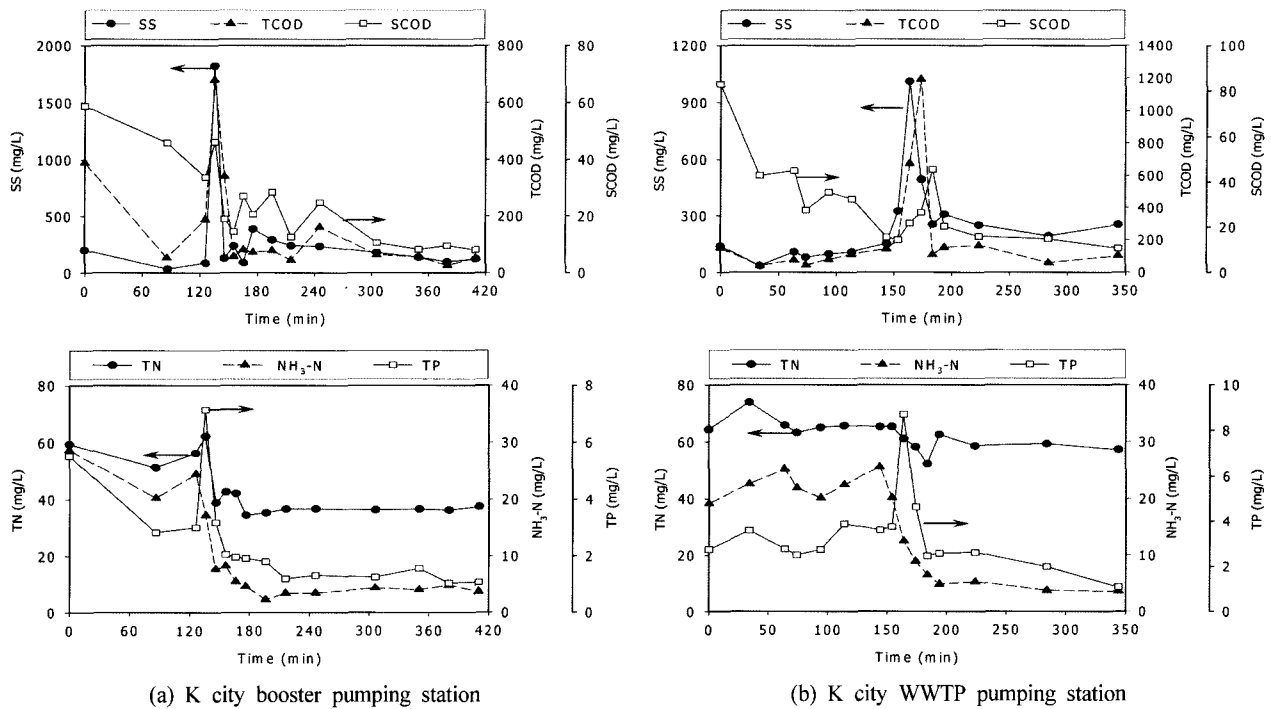


Fig. 5. Combined sewer overflow-SS, TCOD, SCOD, TN, TP, NH<sub>3</sub>-N.

와의 관계를 살펴보면 SS, TCOD, TP 항목에서 초기세척 현상의 영향으로 Cf/Cb가 최대 7.3, 8.0, 3.1배의 농도 상승이 발생되었는데 TN의 경우 강우 특성에 관계없이 거의 일정한 값을 보여주고 있다.

이러한 분석결과는 합류식 하수관거에서 강우 발생시 초기세척으로 인한 고형물질을 적절히 제거하지 못할 경우 목표수질 달성 및 총량오염관리에 어려움이 따를 것을 시사한다.

### 3.2. 유출 오염부하 물질수지

본 연구가 수행된 K시의 배수구역 면적은 약 885 ha인데 이를 3개 분구로 나누어 하수관망이 설치되었다. 또한 2000년 6월 하수처리장 준공과 더불어 구도심지역 하수관망을 전반적으로 정비하여 하수처리장으로 불명수 유입을 최소화하였고 배수구역의 약 20%를 분류식 하수관망으로 정비하였다.

국내 합류식 하수처리시설기준에 따르면 강우 발생시 1차 침전지에서 3Q 처리후, 2Q는 by-pass 시키고 1Q는 하수처리공정에서 정상처리 되도록 권장하고 있다. 본 연구는 강우특성에 따른 유량-수질 특성을 5차에 걸쳐 수행하였는데 이 중 1차 조사시 강우직전유량(Qb)과 침두유량(Qp)의 차이가 3Q에 근접하는 것으로 조사되었기에 1차 유량자료와 수질분석 자료를 바탕으로 총 발생오염부하와 방류수역으로 배출되는 유출오염부하에 따른 대략적인 물질수지를 중계펌프장(배수구역 면적: 322.5 ha)과 하수처리장(배수구역 면적: 885.4 ha)으로 구분하여 Fig. 6에 도시하였다.

Fig. 6을 보면 강우 발생시 구도심 지역을 관통하는 A라인(Fig. 1 참조) 중간에 위치한 중계펌프장(배수면적: 322.5 ha)으로 발생오염 부하량의 70%가 유입되고, 전체 배수구

역(885.4 ha)에서 차집 되는 유입펌프장에는 발생오염 부하량의 33.5%만 유입되는 특성을 보이고 있다(적절한 수질-유량 자료가 불충분하여 1차침전후 by-pass 되는 유량 및 오염부하는 고려하지 않음). Fig. 6(a)에서 중계펌프장에서 30%의 CSOs가 발생된 원인을 운영주체에 탐문해본 결과 하수관망이 새롭게 정비된 구도심지역은 지표면의 대부분이 포장되어 있어 강우시 발생하는 유량의 대부분이 하수관망으로 차집되지만, 중계펌프장 펌프용량이 부족하여 유입되는 우수+하수를 전량 처리하지 못하기 때문에 주요 우수토실에서 1차적으로 방류선으로 by-pass를 실시하기 때문에 조사되었다. 또한 하수처리장으로 유입되는 부하량은 전체의 33.5%에 불과한데 이러한 비정상적인 차집의 원인은 배수구역에 설치된 하수관거 용량이 강우 발생으로 인한 유량증가에 대응하기에 불충분하여 대부분 우수토실에서 by-pass 되는 것으로 조사되었다.

CSOs에 의한 방류 부하량을 저감시키기 위한 시설은 경제성, 효율성, 유지관리 등 여러 측면을 고려하여 종합적인 검토가 필요하다. 국내 하수도시설기준에 따르면 “합류식 하수도 우천시 방류 부하량 저감계획”편에서 방류 부하량의 저감계획으로 ① 차집관거의 용량증대, ② 우수체수지, ③ 스윙 조절조(swirl regulator), ④ 실시간제어방법을 제시하고 있다.

본 연구가 수행된 K시의 경우 Fig. 6(b)에 나타난 비정상적인 CSOs를 해결하기 위해서는 우선적으로 차집관거 정비 및 용량증대가 필요하다. 그러나 재정적 측면에서 어려움이 따를 경우 주요 우수토실에 스윙 조절조를 설치하는 것이 임시적인 대안으로 판단된다. 스윙 조절조는 우수+하수를 나선형으로 흐르게 하여 원심력을 통해 침전물과 부유물질을 걸러내는 장치로 제거효율은 30% 정도로 알려져

**Table 2.** Pattern analysis of combined sewer overflows (K city booster pumping station)

Event	Parameter	Cb	Mean	EMC	Qb	Qa	Qp
#1	pH	6.54	6.63	6.60	287	753	990
	DO	0.30	1.31	1.33			
	Alkalinity	157	78	68			
	EC	518	241	210			
#2	pH	6.80	6.89	6.89	288	450	560
	DO	0.37	0.35	0.36			
	Alkalinity	160	135	131			
	EC	473	383	370			
#3	pH	6.87	7.05	7.10	321	475	567
	DO	0.12	0.75	0.78			
	Alkalinity	138	114	112			
	EC	510	358	349			
#4	pH	6.90	6.96	7.00	482	768	971
	DO	0.08	0.65	0.59			
	Alkalinity	167	90	85			
	EC	561	290	278			
#5	pH	6.66	6.67	6.70	321	413	567
	DO	0.51	0.24	0.23			
	Alkalinity	156	176	175			
	EC	618	604	601			

Event	Parameter	Cb	Cf	EMC	Cf/Cb	Qb	Qa	Qp
#1	SS	200	1820	334	9.10	287	753	990
	TCODcr	390	679	161	1.74			
	SCODcr	59	-	23	-			
	TN	60	62	42	1.33			
	TP	5.5	7.2	2.0	1.31			
#2	SS	33	212	91	6.42	288	450	560
	TCODcr	172	322	140	1.87			
	SCODcr	55	-	30	-			
	TN	77	85	66	1.10			
	TP	2.3	4.8	2.2	2.09			
#3	SS	78	680	320	8.72	321	475	567
	TCODcr	285	545	230	1.91			
	SCODcr	80	-	51	-			
	TN	86	88	72	1.02			
	TP	3.6	5.5	2.6	1.53			
#4	SS	69	1375	637	19.93	482	768	971
	TCODcr	167	734	303	4.40			
	SCODcr	96	-	55	-			
	TN	55	75	55	1.36			
	TP	2.8	6.3	3.2	2.25			
#5	SS	68	200	111	2.94	321	413	567
	TCODcr	228	347	240	1.52			
	SCODcr	85	-	87	-			
	TN	69	76	71	1.10			
	TP	1.7	2.0	2.0	1.18			

Cb- conc. or density during dry flow (mg/L or counts/100 mL), Cf- maximum conc or density during rainfall events, EMC- event mean conc. or density  
 Qb-dry flow rate (m<sup>3</sup>/hr), Qa-average flow during rainfall event (m<sup>3</sup>/hr), Qp-peak flow (m<sup>3</sup>/hr)

**Table 3. Pattern analysis of combined sewer overflows (K city WWTP pumping station)**

Event	Parameter	Cb	Mean	EMC	Qb	Qa	Qp
#1	pH	6.62	6.69	6.68	430	988	1485
	DO	0.47	0.31	0.33			
	Alkalinity	146	108	92			
	EC	512	349	286			
#2	pH	6.53	6.71	6.73	432	688	841
	DO	0.39	0.43	0.47			
	Alkalinity	158	149	148			
	EC	515	456	449			
#3	pH	6.69	6.94	6.96	482	727	852
	DO	1.80	0.56	0.37			
	Alkalinity	157	149	99			
	EC	531	516	342			
#4	pH	6.69	6.88	6.89	723	1073	1458
	DO	0.35	0.22	0.15			
	Alkalinity	150	135	91			
	EC	689	474	320			
#5	pH	6.50	6.60	6.60	482	625	852
	DO	0.12	0.14	0.11			
	Alkalinity	176	160	487			
	EC	643	631	123			

Event	Parameter	Cb	Cf	EMC	Cf/Cb	Qb	Qa	Qp
#1	SS	139	1010	324	7.3	430	988	1485
	TCODcr	150	1193	281	8.0			
	SCODcr	83	-	25	-			
	TN	64	74	60	1.2			
	TP	2.8	8.7	3.4	3.1			
#2	SS	70	370	115	5.3	432	688	841
	TCODcr	100	309	158	3.1			
	SCODcr	73	-	24	-			
	TN	67	71	68	1.1			
	TP	2.9	4.8	3.0	1.7			
#3	SS	31	226	81	7.3	482	727	852
	TCODcr	75	329	81	4.4			
	SCODcr	25	-	36	-			
	TN	76	83	51	1.1			
	TP	3.1	5.0	2.5	1.6			
#4	SS	300	320	164	1.1	723	1073	1458
	TCODcr	358	423	159	1.2			
	SCODcr	66	-	59	-			
	TN	59	68	36	1.2			
	TP	4.6	5.0	2.3	1.2			
#5	SS	164	344	105	2.1	482	625	852
	TCODcr	209	304	170	1.5			
	SCODcr	49	-	44	-			
	TN	65	74	52	1.1			
	TP	1.4	2.0	1.2	1.4			

Cb- conc. or density during dry flow (mg/L or counts/100 mL), Cf- maximum conc or density during rainfall events, EMC- event mean conc. or density  
 Qb-dry flow rate (m<sup>3</sup>/hr), Qa-average flow during rainfall event (m<sup>3</sup>/hr), Qp-peak flow (m<sup>3</sup>/hr)

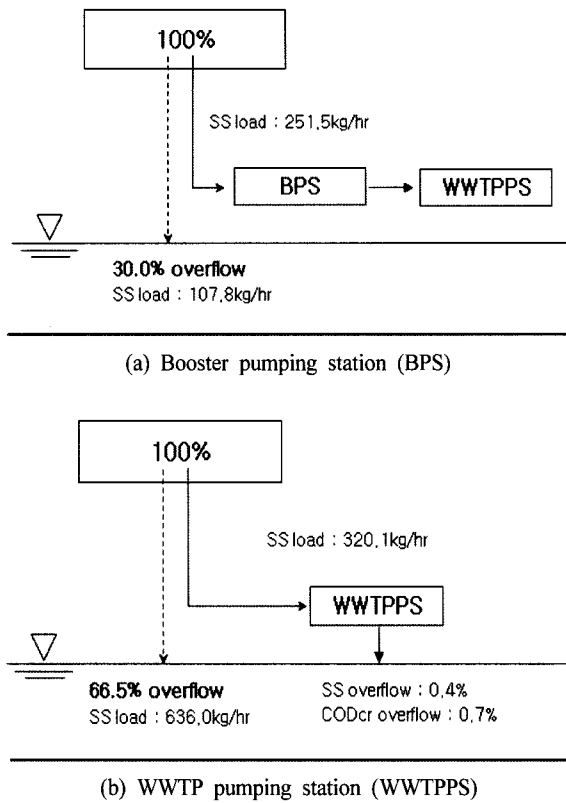


Fig. 6. SS and CODcr mass balance during rainfall event.

있다(환경부, 1998).

문헌에 자료에 따르면 방류선으로 배출된 연간 고형물 발생오염부하 중 강우유출에 의한 부분이 분류식의 경우 76.1%, 합류식의 경우 86.5%로 나타났으며, 분류식과 합류식에 관계없이 방류선 고형물 부하의 대부분이 강우유출에 의해 발생하는 것으로 보고되었고, 유기물질의 경우 CSOs에 의한 배출 오염부하와 하수처리장의 연간 방류수 부하(2차 처리수)가 거의 비슷한 것으로 보고되었다(이 등, 2003; Saget et al., 1995).

### 3.3. 부하량-유량 관계식

강우시 합류식 하수관 유출수는 퇴적물이나 지면의 세척 현상에 의하여 초기강우효과가 발생하여 수질농도는 건기시에 비해 크게 증가하지만 이 단계가 끝나면 빗물에 의한 희석효과로 인하여 감소하는 경향을 보인다. 그러나 희석효과에 비해 유량이 큰 폭으로 증가하므로 전체적인 부하량은 건기시보다 수배 증가하게 된다. 예를 들어 Table 3에 나타낸 #1에서 강우 영향이 큰 TCOD 평균농도(EMC) 281 mg/L와 평균유량(Qa) 988 m<sup>3</sup>/hr에 대한 고형물량은 약 278 kg/hr이고, 강우전 농도(Cb) 150 mg/L와 유량(Qb) 430 m<sup>3</sup>/hr에 대한 고형물량은 64.5 kg/hr로 6시간 강우 지속시간 동안 강우 전보다 4.3배 TCOD 부하량이 증가한 것을 알 수 있다.

하수처리장 운영관리 주체는 유입유량이 하수처리장의 처리용량(대부분 2차 침전지)을 초과하게 되면 (이것을 수리학적 과부하라함) 포기조의 활성 슬러지의 유실과 함께 처리효율이 극도로 저하되므로 슬러지의 유실방지와 시설

보호를 위하여 불가피하게 수리적 특성에 따라 우수토실이나 증계 펌프장, 하수처리장 유입펌프장에서 방류수선으로 우회시키고 있다.

방류수선으로 배출된 오염물질은 지표특성, 강우빈도 및 강도에 따라 다양하게 특성을 보이는데, 하수처리장 운영 주체측 관점에서는 미생물 유실, 수리학적 과부하와 같은 공정시스템 안정을 중점적으로 관리하게 때문에 CSOs로 인한 방류수계 오염 부하량과 같은 통합 물 관리 측면에 소홀할 수밖에 없는 실정이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 소도시 지역 특성을 반영할 수 있는 CSOs 자료를 축적하여 강우량과 오염 부하량의 상관관계식을 도출하여 방류수선에 대한 개략적인 오염 부하량을 산정하는 것이 수계별 오염 총량제를 관리하는데 필요하다.

본 연구에서는 5회에 걸친 COSs 측정 자료를 바탕으로 Fig. 7과 같이 유역면적당 유량과 유역면적당 부하량의 관계를 아래와 같은 Log-Log로 상관관계식을 도출하였다. 부하량-유량 관계식은 강우사상에 대한 합류식 하수관 유량자료를 이용하여 강우시 비점원 형태로 방류수계로 유입되는 오염물질 부하량을 평가하는데 매우 유용하다.

$$L/A = \alpha\{Q/A\}^\beta \quad (1)$$

위식에서  $\alpha$ ,  $\beta$ 는 회귀관계식을 통해서 평가할 수 있으며  $\beta$ 는 관계식의 기울기를 나타내며 본 연구대상 소도시 합류식 하수관 유출수 수질자료에 대해 적용한 결과 Table 4와 같았다.

Table 4. Rating equations of unit loading and flow rate

Item	Parameters	$\alpha$	$\beta$	$r^2$
Booster pumping station	SS	0.0450	3.310	0.49
	COD	0.1247	1.627	0.32
	TN	0.0795	0.609	0.54
	TP	0.0015	1.577	0.43
WWTP pumping station	SS	0.288	2.243	0.52
	COD	0.267	1.795	0.28
	TN	0.057	0.721	0.81
	TP	0.003	1.116	0.41

Table 4에서 K시 증계펌프장과 유입펌프장에 대한 Log-Log 관계식의 상수 값이 큰 차이를 보이고 있는데 이는 앞에서 검토한 오염 부하량 물질수지에서 overflow되는 비율에 기인된 것으로 판단되며 상관도를 나타내는 결정계수  $r^2$ 의 경우 0.28~0.81로 TN을 제외하고 신뢰도가 낮게 분석되었기에 다양한 강우강도와 이에 관련된 실측자료를 보완하여야만 중·소도시 방류선 수계관리를 위한 오염 부하량을 적절히 평가할 수 있는 신뢰가 높은 관계식을 도출할 수 있을 것으로 사료된다.

국내 문헌자료에 따르면 강우사상별 침투 강우강도와 침투 오염농도 사이에 Log 함수에 적합한 상관성이 있는 것으로 보고되었고, 선행건기일수, 평균강우강도, 강우지속시간은 상관도가 낮은 것으로 보고되었다(이 등, 2004).

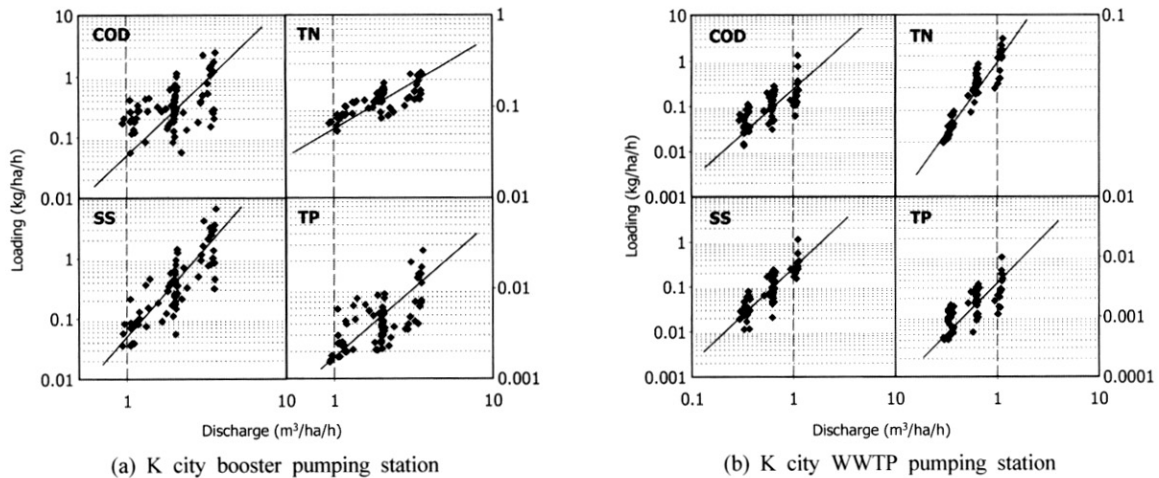


Fig. 7. Rating curves of unit loading and flow rate.

4. 결론

- 1) K시의 경우 강우 발생 후 중계펌프장과 유입펌프장 사이의 초기강우효과가 30~60 min 정도의 사차를 두고 발생하였으며, 강우 발생으로 인한 오염물질 농도 특성은 강우전 농도(Cb)와 침투농도(Cf)의 비를 비교하였을 때 SS, TCODcr, TP 항목에서 두드러지게 나타났다. 그러나 TN과 경우 지표면 세척효과에 따른 고형물질에 영향을 받지 않고 강우 특성과 관계없이 일정한 값을 보여주었다.
- 2) 강우시 발생하는 총 발생오염부하 중 방류수역으로 배출되는 유출오염부하에 대한 대략적인 물질수지 검토 결과 중계펌프장 유역에서 30%의 CSOs가 발생되었으며, 전체 배수구역에서는 66.5%의 CSOs가 발생되었다. 하수관망이 정비된 중계펌프장의 경우 차집에 문제 보다는 펌프 용량 부족과 하수관로 관경이 불충분한 것이 원인이었고, 기타의 지역에서는 차집에 문제로 대량의 CSOs가 발생하는 것으로 판단되었다. 본 연구의 결과를 근거하면 장기적으로 합류식 차집관로를 분류식 하수관거로 정비하거나, 하수처리시설 용량(펌프, 하수관로 관경)을 증설하여야만 CSOs 발생을 최소화할 수 있으며, 이러한 방법이 현실적으로 어려운 경우 주요 우수토실에 스월조 절조를 설치하는 것이 임시적인 대안으로 판단되었다.
- 3) 본 연구에서 조사된 5회의 강우 자료를 바탕으로 강우 영향이 큰 SS, CODcr 항목에 대한 전체 유역면적당 유량과 유역면적당 부하량을 Log-Log로 상관관계를 분석한 결과  $SS(kg/ha/hr) = 0.288(Q/A)^{2.243}$ 으로  $CODcr(kg/ha/hr) = 0.267(Q/A)^{1.795}$ 로 나타났다. 이때 상관도를 나타내는 r<sup>2</sup> 낮은 신뢰도를 보였는데 이를 보완하기 위해서는 강우강도와 관련된 다양한 실측자료를 확보하여야 신뢰성 있는 관계식을 얻을 수 있는 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원(과제번호 1-5-2)에 의해 수행되었습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

안재환, 비도시지역에서 강우사상에 따른 비점오염원 유출 특성 연구, *건설기술정보*, **12**, pp. 18-23 (2000).  
 이두진, 신용배, 윤현식, 선상운, 관수동, 분류식 우수유출 오염부하 비교를 통한 CSOs 저감목표 설정 기초연구, *대한환경공학회지*, **25**(11), pp. 1420-1428 (2003).  
 이두진, 신용배, 강우유출 모델을 이용한 합류식 하수관거 월류수 저류시설의 용량결정에 관한연구(I), *대한환경공학회지*, **28**(3), pp. 370-380 (2004).  
 환경부, 하수도 시설기준 (1998).  
 환경부, 수질오염 공정시험법 (1999).  
 환경부, 비점오염원관리 업무편람 (2005).  
 APHA, AWWA and WEF., *Standard Methods for Examinations of Water and Wastewater*, 20th edition, Washington D.C., USA (1998).  
 Field, R., O'Shea, M. L. and Chin, K. K., *Integrated Stormwater Management*, Lewis Publishers (1993).  
 Gbe, C. N., *Nonlinear Optimization Model for CSO control Facilities Planning*, Ph.D. Dissertation, University of Cincinnati, USA (1998).  
 Saget, A., Chebbo, G., and Desbordes, M., Urban Discharges during Wet Weather : What Volumes Have to Be Treated, *Water Sci. and Technol.*, **32**(1), pp. 225-232 (1995).  
 Tchobanoglous, G., *Wastewater Engineering-Collection and Pumping of Wastewater*. McGraw-hill, Metcalf and Eddy Inc., USA (1981).  
 Tchobanoglous, G. and Burton, F. L., *Wastewater Engineering-Treatment, Disposal and Reuse*, McGraw-Hill, 4th edition, Metcalf and Eddy Inc., USA (1991).  
 U. S. EPA., *Combined Sewer Overflow Control*, EPA, Ohio, Cincinnati (1993).  
 Vladimir Novotny and Harvey Olem, *Water Quality Prevention, Identification, and Management of Diffuse Pollution*, Van Nostrand Reinhold, New York (1994).  
 WEF and ASCE, *Design of Wastewater Treatment Plants*. 4th edition (1992).