

우오수분리벽을 이용한 합류식 하수관거와 분류식 우수관거의 월류수 제어효과 비교

임봉수[†] · 김도영 · 이광춘^{*}

대전대학교 환경공학과
^{*}(주)협신기업

Comparison of Pollutant Control in Combined Sewer Overflows and Separated Sewer Overflows using the Separation Wall

Lim, Bong-Su[†] · Kim, Do-Young · Lee, Kuang-Chun^{*}

Department of Environmental Engineering, Daejeon University
^{*}Hyupsin Enterprise Co., Ltd.

(Received 19 March 2007, Accepted 26 June 2007)

Abstract

This study is to evaluate control effects of separation wall by surveying water quality and sewer overflows during dry and wet periods in combined sewer and separated sewer systems. Ravine water from the combined Seokgyo outfall with the separation wall was separated about four times larger than sewage flow during dry periods. The water quality of the combined Seokgyo outfall with separation wall during dry periods is flow weighed average BOD 61 mg/L, the combined Cheonseokgyo outfall without the separation wall is average BOD 71 mg/L, and the separated Pyeongsong center outfall is average BOD 41 mg/L. The BOD concentration in separated outfall form about 57% of the combined outfall, and this means the separated outfall (i.e. storm sewer) is polluted by inflow of sewage. The overflow load of the separated outfall is ten times higher than the combined outfall and its overflow load per rainfall is three times than combined outfall during the wet periods. Therefore, the control plan of overflow load is required in storm sewer. The control effects of the overflow load increased 79% by setting the separation wall in the combined sewer, and showed 27% increase without the separation wall in separated sewer, but forecasted over 80% increase of effects if the separation wall was set.

keywords : Combined sewer, Control overflow load, Separated sewer, Separation wall, Sewer overflow

1. 서론

2005년 말 현재 우리나라에 시설된 하수관거 보급률은 68.2%로서 이중 56%는 합류식이며, 44%는 분류식으로 되어 있어, 강우시 합류식 하수관 월류수에 의한 하천오염이 크게 우려되고 있는 실정이다(환경부, 2006a). 정부의 4대 강 물관리 종합대책에 의하면 수계 전체 오염원중 비점오염원이 차지하고 있는 비율을 22~37%로 추정하고 있고, 팔당상수원 오염원에서 2004년 말 기준 총배출부하량(BOD 기준)의 44.5%가 비점오염원에 의한 것으로 조사되었다(환경부, 2005).

하수관거의 보급률이 높은 일본 동경의 경우 하수도의 보급률의 증가만큼 하천 수질이 향상되지 않은 원인으로 강우시 합류식 하수관 월류수(CSO : Combined Sewer Overflows)와 우수관거 배출수(SSO : Separated Sewer Overflows)라는 연구결과(鳥津, 1996)가 있다. 또한 CSO와

SSO가 도시지역 비점오염 부하중 가장 큰 비중을 차지하며, 도시하천 생태계를 크게 악화시키는 것으로 조사된 외국의 연구(Whipple et al., 1981)에서 지적한 바와 같이, CSO 및 SSO에 대한 처리 대책이 없는 한 도시하천의 수질개선을 기대하기란 어려운 실정에 도달하였다.

이러한 강우 유출수중 오염부하가 많은 강우초기에 배출되는 오염부하만이라도 제어할 수 있다면 도시지역의 비점오염부하를 상당량 감소시키는 효과를 가질 수가 있다. 그동안 우리나라는 수질오염물질에 대한 관리를 하수 및 공장폐수 등 점오염원 관리에 치중되어 이루어져 왔고, 그간의 노력으로 수질이 많이 개선되었으나 정부가 추진하는 맑은 물 공급 계획을 달성하는 데는 한계가 있는 것으로 평가되고 있다. 그러므로 점오염원과 병행하여 비점오염원, 특히 도시지역의 강우 초기에 배출되는 오염물질을 일정량 이상으로 제거할 수만 있다면 도시 인근 수계의 수질 개선에 크게 기여할 것으로 기대된다(방 등, 2002).

정부에서는 2005년까지 하수관거정비 종합계획을 수립하여 하수처리장 유입수질을 설계기준 대비 현재 약 70%에서 약 80% 수준으로 높이기 위해 하수관거의 분류화를 적

[†] To whom correspondence should be addressed.
bslim@dju.ac.kr

국 추진하고 있는데, 합류식 하수관거 월류수에 연구(조 등, 2002; 이 등, 2003a, 2003b, 2004b, 2004c; Lape et al., 1994)는 활발한 데 비해 분류식 하수관거 월류수에 대한 관련 연구는 거의 미흡한 상황이다. 최근 환경부(2006b)에서 하수관거정비기본계획 수립 지침을 위해 CSO와 SSO 관리 지침, 배수설비 설치개선을 위한 기준을 마련하고 있다. 강우시 발생하는 월류수 오염물질을 DAF 시스템을 이용하여 침전과 부상분리가 한 반응조에서 동시에 일어나도록 함으로써 SS제거효율을 90%이상 증가시킨 연구(이 등, 2003c), 분류식과 합류식 지역의 토지이용 용도별 면적당 오염부하 원단위를 비교한 연구(강 등, 2003; 환경관리공단, 2004)가 국내에 있다. 그러므로 분류식 하수관거 초기강우시 월류수에 대한 수질관리 대책을 위해서는 이러한 우수 유출에 의한 오염원의 제거가 이루어져야 하며 강우유출수 내 함유된 유기·무기성분 오염물농도와 부하량에 대한 기초조사가 선행되어야 한다(환경관리공단, 2004).

합류식 하수관거 설치지역의 경우 청천시 발생하는 하수는 전량 우수토실을 통하여 차집되고 강우시에는 차집관거를 통한 일정유량(3Q)이 차집, 또는 초기 하천으로 배출되는 오염부하를 저감시킬 수 있는 대안으로 월류수의 2Q만 초기우수처리시설에 유입시키고 나머지는 하수처리장으로 보내는 시범설치시설 등이 있다(김, 2006). 반면, 높은 분류식 하수관거 보급률에도 불구하고 분류식 하수관거 설치지역은 강우시 오점으로 인한 우수, 지표세척수 및 우수받이, 측구내 오염물질이 포함되어 관거로 유입되므로, 하천으로 배출되는 오염부하를 저감시킬 적절한 대안이 없어 주로 우수관거 토구지점에 우수토실과 유사한 차집시설물을 설치하여 대처하고 있는 실정이다(환경관리공단, 2004).

본 연구에서는 도시지역 하천수질개선에 있어 중요한 요소라 할 수 있는 분류식 하수관거 지역의 우수관거 월류수의 특성을 조사하고, 국내에서 합류식 하수관거에는 활용되고 있지만 아직까지 우수관거에 활용된 사례가 없는 우오수분리벽을 설치함으로써 강우시 월류수 오염물질 제어에 효과적인 대안임을 제시하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사대상

대전시의 합류식 하수관거 보급률은 총 하수관거 연장대비 56.7%, 분류식 하수관거는 43.7%로 전국 분류식 하수관거 42%보다 비교적 높은 분류식 보급률을 보여주고 있다(환경부, 2005). 또한 2006년도부터 하수관거 BTL사업이

3,000억원이 투자되어 점진적으로 추진되고 있어 합류식 하수관거의 개보수와 분류식 하수관거의 보급률이 더욱 증가될 것으로 예측된다.

우오수분리벽은 2002년경부터 본격적으로 정부조달품으로 등록하여 전국에 보급하고 있는 우수와 우수를 분리하는 역할을 하는 제품으로서 폐플라스틱이나 폐비닐 등의 재활용 PE(Polythlene)를 소재로 만든 친환경제품이다. 우오수분리벽은 Fig. 1과 같이 높이에 따라 제품화되어, 그 모델은 높이가 250 mm 부터 1300 mm 까지 다양하게 있으며, 굴곡구간에는 굴곡형을 시공현장에서 길이와 각도를 측정 후 신속히 제작 및 설치가 가능하다. 2005년 12월말까지 우오수분리벽은 전국적으로 40여개의 지방자치단체, 70여개의 BOX형 합류식 하수관거에 총 설치연장은 약 110 km 이상으로 보급·설치되어 있으며 우오수분리벽에 의한 BOX형 합류식 하수관거의 우수와 우수의 분리가 어려운 문제점 개선에 큰 효과를 보이고 있다(임 등, 2001; 최 등, 2003a).

합류식 하수관거내에서 우오수분리벽의 설치유무에 따른 오염물질 제어효과를 토대로 분류식 우수관거에도 우오수분리벽을 설치한다면 동일하게 그 효과가 나타날 것으로 가정하였다. 조사대상지점은 대전시의 합류식과 분류식지역을 중심으로 분류식 우수관거에서의 월류수 제어효과를 평가하기 위해 합류식 하수관거중 우오수분리벽이 설치된 지점(석교)과 설치되지 않은 지점(천석교)을 각각 한 지점으로 선정하였고, 분류식 우수관거 한 지점(평송수련원)을 선정하였다. 석교지점의 유역면적은 1.6 km²으로, 약 50% 정도가 녹지지역이며 나머지는 주거 및 상가지역이 혼재한 지역이다. 천석교지점 유역면적은 2.4 km²으로 석교와 비슷한 지역 특성을 나타내며, 평송수련원지점의 유역면적은 3.4 km²으로 주거 및 상가지역이 혼재한 지역이다. Fig. 2는 대전시 합류식 하수관거에 우오수분리벽이 설치되어 있는 석교 토구지점과 설치되지 않은 천석교 토구지점, 분류식 우수관거내 우오수분리벽이 설치되지 않은 평송수련원 토구지점의 단면도를 나타낸 것이다. Table 1은 조사대상지점의 위치와 토구제원을 나타내고 있다. Fig. 3은 합류식, Fig. 4는 분류식 대상지역의 개략적인 유역면적과 토구위치를 각각 나타내고 있다.

계곡수량과 우수량을 전기시 3시간, 우기시 5~10분 간격으로 유량측정 및 시료채취하여 오염물질 농도를 분석하고, 월류수 및 차집오염부하량, 유량중평균농도, 우오수분리벽 설치에 따른 오염부하제어 기대효과를 비교·분석하였다. 단, 초기강우시 대상지역의 관거유량이 설치된 우오수분리벽의 높이를 초과하지 않는 범위에서 조사하였다.

Table 1. Location and current information of sampling points

Drainage type	Name	Location	Outfall size	Remarks
Combined sewer	Seokgyo	Seokgyo downstream Seokgyo-dong Deajeon city	Two BOX (2 m × 2 m)	With separation wall
	Cheonseokgyo	Cheonseokgyo downstream Seokgyo-dong Deajeon city	One BOX (3 m × 2 m)	Without separation wall
Sanitary sewer (Storm sewer)	Pyeongsong center	Pyeongsong center Mannyeon-dong Deajeon city	Three BOX (3 m × 2 m)	Without separation wall

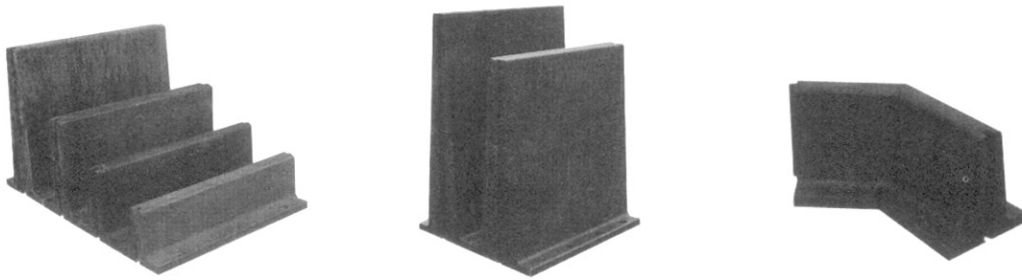
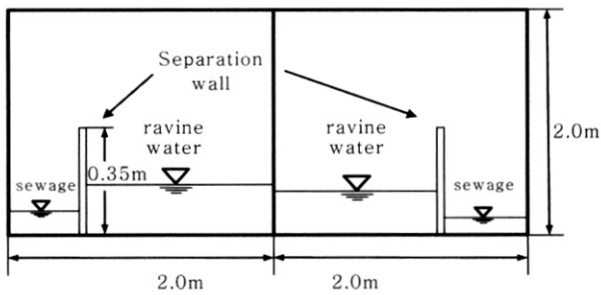
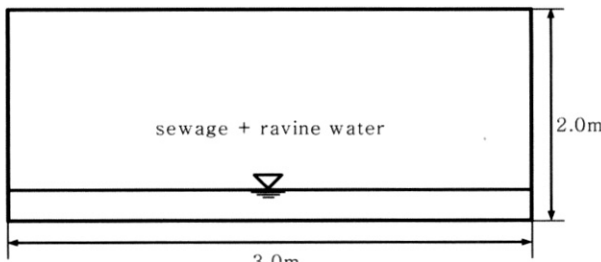


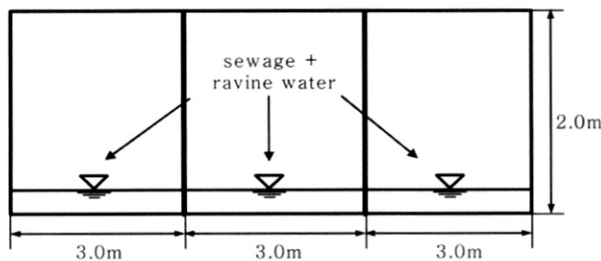
Fig. 1. Types of separation wall.



(a) Seokgyo outfall



(b) Cheonseokgyo outfall



(c) Pyeongsong center outfall

Fig. 2. Brief section of sampling outfall.

2.2. 조사방법

본 연구는 분류식 우수관거내에 우오수분리벽의 설치하여 월류수에 의한 오염물질 제어효과를 타진하는 것이므로 분류식 하수관거의 우오수분리벽 설치지역과 미설치지역을 비교하여 평가하는 것이 바람직하다. 그러나 아직까지 우수관거 현장에 설치된 우오수분리벽 사례가 없고 실제적으로 현장에 배수구역 전역에 설치하기에는 비용이 과다하므로, 합류식 지역에 우오수분리벽의 설치유무에 따른 월류수 제어효과를 비교하여, 이에 따른 효과를 분류식 하수관거에 적용하고자 한다.

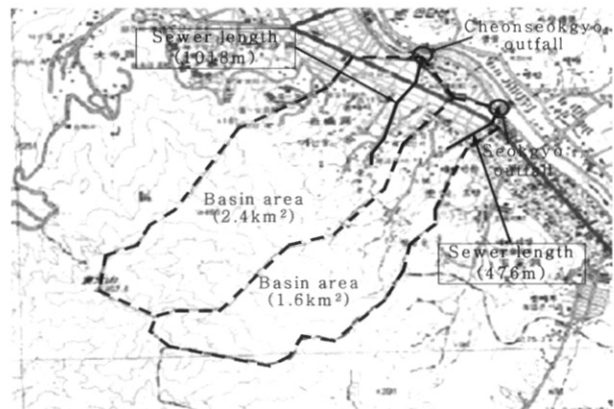


Fig. 3. Map of combined sewer basin.



Fig. 4. Map of separated sewer basin.

따라서 대상지역은 합류식 지역에서 우오수분리벽이 설치된 지점과 미설치된 지점으로 2곳을 선정하여 두 지점에 대해 갈수시 유량과 수질은 1회 분석하고, 강우시 2~3회 월류수의 수질과 유량을 조사하여 설치지역의 제어효과를 분석한다. 강우량에 따른 월류수 오염부하량의 상관성을 조사한다. 한편, 분류식 지역에서 우수관거 토구지점은 갈수시에 1회정도 유량과 수질을 측정하고, 강우시 2~3회 월류수의 수질과 유량을 측정 분석하여 월류수의 특성을 상호 비교 분석한다.

본 연구의 수질측정은 Standard Method (APHA, 1998)에 의하여 수행하였으며, 수질항목은 BOD, CODcr, SS, TN, TP를 측정하였다. 유량측정은 유속·단면적 측정방법을 사용하였으며, 유속계는 VALEPORT model 002, Flow Meter

Wading Set와 FLO-TOTE II MARSH-McBIRNEY, INC.를 사용하여 측정하였다.

강우시 월류시점과 월류되지 않고 다시 차집관거로 유입되는 종점을 관찰하여 월류수를 산정하였고 월류시점의 유량과 월류되었다가 다시 월류가 끝나는 종점까지의 유량에 월류시간을 곱하여 총월류량을 산정하였다. 또한 월류시점과 종점사이의 유량, 측정농도, 시간을 곱하여 모두 합한 값에 총월류량으로 나누어 유량가중평균농도(EMC : event mean concentration)를 구하여 월류구간 사이의 평균농도를 산정하였으며 이때의 유량가중평균농도에 월류량을 곱하여 월류시 발생하는 월류오염부하량을 산정하였다. 이 두 가지 계산식은 아래와 같다.

유량가중평균농도 (mg/L) =

$$\frac{\text{강우사상별 총오염물질발생량}(kg)}{\text{강우사상별 총강우유출량}(m^3)} = \frac{\sum Qi \cdot Ci \cdot \Delta ti}{\sum Qi \cdot \Delta ti}$$

월류오염부하량 (kg) =

$$\text{유량가중평균농도 (mg/L)} \times \text{총월류량 (m}^3\text{)}$$

3. 결과 및 고찰

3.1. 합류식 하수관거에서 우오수분리벽 설치지역 (석교지점)

3.1.1. 건기시

건기시 2006년 6월 2일, 6월 19일, 6월 26일 3회에 걸쳐 석교지점의 오수량과 계곡수량을 측정하였는데 평균 오수량 215 m³/d, 계곡수량 797 m³/d으로 오수량보다 약 3.7배의 많은 계곡수량이 하천으로 유입되는 것으로 조사되었다 (임, 2006).

Fig. 5는 2006년 6월 2일에 건기시 석교 토구지점에서 하루 중 3시간 간격으로 분리배출되는 오수량과 계곡수량의 변화를 나타낸 것이다. 건기시 일평균 오수량은 178 m³/d로 전량 차집관거로 차집되며, 건기시 일평균 계곡수량은 674 m³/d로 오수량보다 약 4배 많은 계곡수가 하천으로 유입되는 것으로 나타났다. 한편, 청주시 미평천 토구지점에서

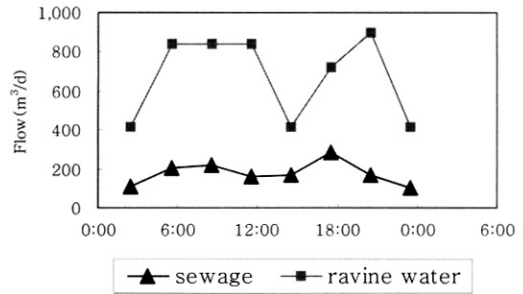


Fig. 5. Hourly change of sewage and ravine water during the dry period at Seokgyo.

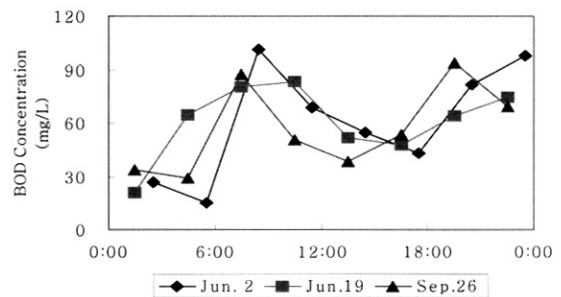


Fig. 6. Hourly change of BOD concentration during the dry period at Seokgyo.

계곡수 분리효과가 약 6배 정도(최 등, 2003a) 늘었는데 이는 유역면적이 크고 산림지역이 차지하는 비율이 클수록 효과는 더 큰 것으로 예상된다.

Fig. 6은 건기시 3회 걸친 수질의 변화를 나타낸 것으로 야간에 수질이 낮고 주간에 수질이 변화되는 일반도시의 수질변화와 유사한 경향을 띠고 있다. 유량을 고려한 오수의 3회 가중평균을 산출하면 BOD 61 mg/L, COD 235 mg/L, SS 37 mg/L, TN 22 mg/L, TP 2.4 mg/L로 조사되었다. 계곡수의 경우 가중평균 BOD 2.1 mg/L으로 오수가 유입되지 않은 계곡수임을 확인할 수 있었다.

3.1.2. 우기시

Table 2는 2006년 5월 22일 우기시 석교지점에서 오수량과 수질측정결과를 나타낸 것으로 19시 8분경에 비가 오기

Table 2. Results of water quality and sewage flow during the wet period at Seokgyo

Time (May 22)	Flow (m ³ /d)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	Remarks
19:08	496	21	179	250	14	0.8	Before overflows
19:26	4,502	14	142	165	16	0.9	
19:39	13,907	5	82	1,070	16	1.2	Overflow
19:48	15,553	18	157	1,485	12	0.5	
19:58	11,504	15	118	740	15	0.6	
20:08	6,070	34	202	800	16	0.7	After overflows were finished
20:20	4,502	120	351	330	16	0.6	
20:30	371	45	226	305	16	0.7	
20:40	220	34	200	170	16	0.7	
20:50	197	24	196	180	16	0.8	
Average	5,732	33	185	550	15	0.8	

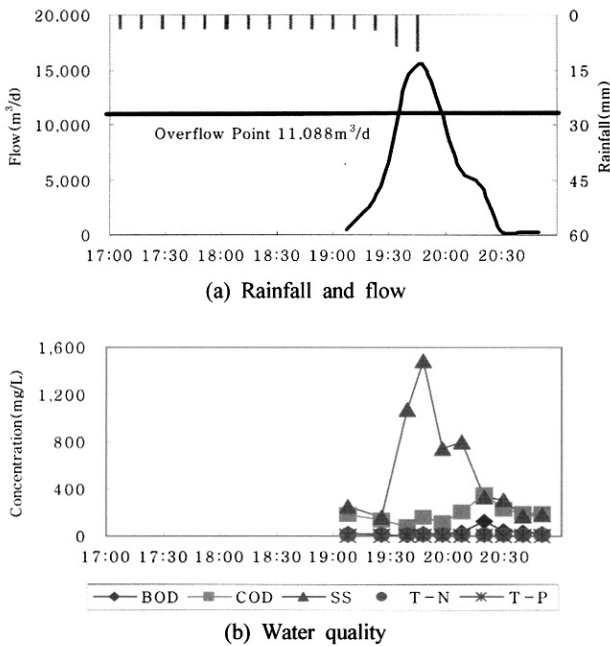


Fig. 7. Changes of water quality and sewage flow during the wet period at Seokgyo.

시작하여 19시 39분경에 월류가 시작되었고 19시 58분경에 월류가 종료되었다.

Fig. 7은 강우시 시간에 대한 강우량, 유량 그리고 수질에 대한 변화를 나타낸 것이다. 강우시작후 약 2시간 30분 이후에 월류량이 최고로 나타났으며 수질의 경우 SS가 가장 급격히 증가하는 양상을 띠고 있다. SS에 비해 BOD 등의 수질은 월류시에 큰 변화가 없는 양상을 띠고 있어 우오수분리벽에 의해 하수에 의한 오염이 차단되어 오히려 강우 유출에 의한 지표 세척수 등에 의한 비점원오염물질이 다량 하천에 유출되는 것을 알 수 있다.

총월류량은 40 m³에 대해 강우량당 월류량은 363 m³/mm이고, BOD기준으로 유량가중평균농도 12.7 mg/L, 월류오염부하량 0.5 kg, 강우량당 오염부하량 4.5 kg/mm로 나타났다.

3.1.3. 오염부하 제어효과

Table 3은 우오수분리벽이 설치되어 실측된 자료와 실측된 자료를 토대로 미설치시의 가정치를 이용하여 월류오염물질의 제어효과를 비교한 것이다. Fig. 8은 차집오염부하량과 월류오염부하량을 서로 쉽게 이해하기 위해 그림으로

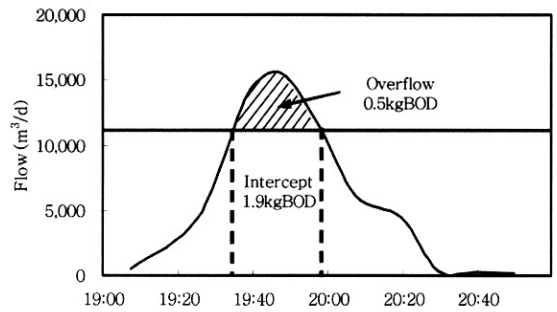


Fig. 8. Comparison of overflow and intercept load during the wet period at Seokgyo.

나타낸 것이다. 건기시 계곡수와 오수를 효과적으로 분리하여 오수는 전량 차집관거로 유입되고 계곡수는 하천으로 유출되지만, 우기시 계곡수는 하천으로 유출되고 오수는 실측결과 유출오염부하의 약 79%의 오염물질이 차집되는 효과를 나타낸다. 또한 우오수분리벽이 미설치되어 있을 경우 오수와 계곡수가 혼합되어 45%정도로 낮은 차집효과를 나타낼 것으로 판단된다. 한편, 합류식지역에서 우오수분리벽이 설치된 대전시의 대사천지점(유역면적 3.15 km²)의 측정된 자료(이 등, 2004a)의 경우 설치되지 않는다면 건기시 63%, 우기시 21%로 낮은 제어효과를 나타낸 것으로 조사되었다.

3.2. 합류식 하수관거에서 우오수분리벽 미설치지역 (천석교지점)

3.2.1. 건기시

Fig. 9는 건기시 3회 측정된 천석교 토구지점에서 하루 중 3시간별 배출되는 BOD의 변화를 나타낸 것이다. 이 경우 우오수분리벽이 설치되지 않아 계곡수가 포함되어 수질이 낮은 편이나, 3회에 걸친 수질측정결과 가중평균 BOD 71 mg/L, COD 282 mg/L, SS 39 mg/L, TN 21 mg/L, TP 2.6 mg/L이었다. 우리나라의 합류식지역의 일반도시하수의 평균 수질은 BOD 70~100 mg/L, TN 15~21 mg/L, TP 2.9~4 mg/L의 범위(최, 2001)이며, 이와 유사한 농도를 나타내고 있다.

3.2.2. 우기시

Table 4는 우기시 3회 측정자료중 2006년 7월 4일 천석교지점에서 오수량과 수질측정결과를 나타낸 것인데, 월류오염부하량이 가장 큰 자료를 나타낸 것이다. 이 경우 9시

Table 3. Control effects of BOD load for separation wall at Seokgyo

	Period	Flow type	Volume (m ³)	Discharge load (kgBOD)	Intercept load (kgBOD)	Overflow load (kgBOD)	Control efficiency (%)
Measure w/ wall	Dry	S	2.8	0.2	to intercept	none	100
		R	10.5	0.02	to stream	to stream	-
	Wet	S	186	2.4	1.9	0.5	79
		R	137	0.7	to stream	to stream	-
Forecast w/o wall	Dry	S + R	13.3	0.22	0.22	none	100
	Wet	S + R	322	3.1	1.4	1.7	45

Note) S: Sewage, R: Ravine water

Table 4. Results of water quality and sewage flow during the wet period at Cheonseokgyo

Time (July 4)	Flow (m ³ /d)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	Remarks
9:40	12,114	43	151	50	12.4	1.6	Before overflows
9:45	17,252	49	285	60	14.6	1.6	
9:50	18,713	36	721	78	12.5	2.1	
9:55	22,991	140	872	198	20.6	3.3	
10:00	24,157	101	808	216	19.9	3.1	Overflow
10:05	21,541	99	705	216	19.7	2.9	
10:10	17,341	70	325	168	16.0	2.4	
10:20	15,529	54	119	122	15.5	2.0	
10:30	12,216	29	71	112	8.7	1.4	After overflows were finished
Average	17,984	69	451	136	15.6	2.3	

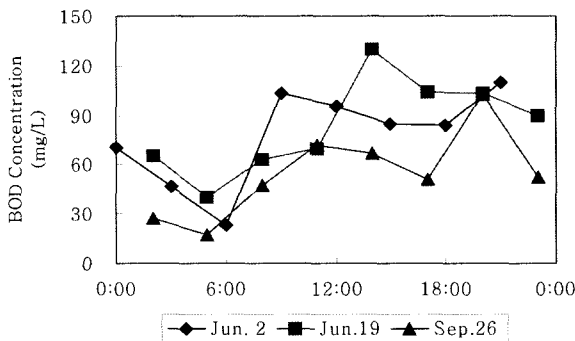


Fig. 9. Hourly change of BOD concentration during the dry period at Cheonseokgyo.

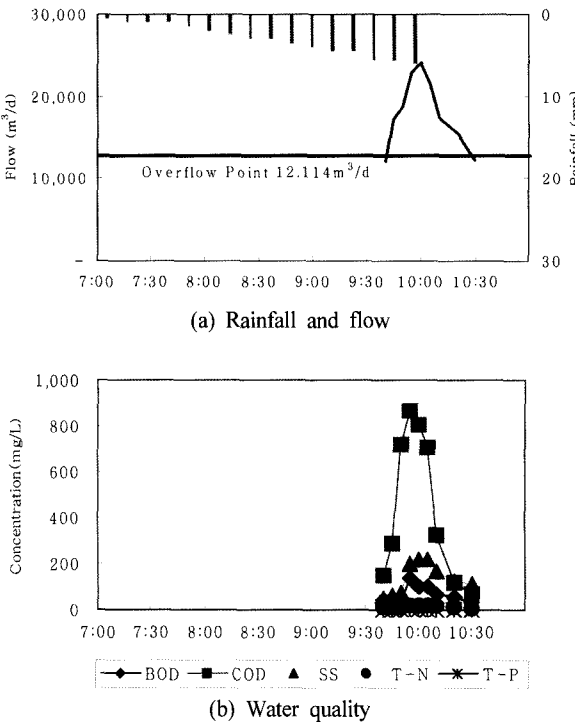


Fig. 10. Changes of water quality and sewage flow during the wet period at Cheonseokgyo.

40분경에 비가 오기 시작하여 9시 45분경에 월류가 시작되었고 10시 30분경에 월류가 종료되었다.

Fig. 10은 강우시 시간에 따른 강우량, 유량, 그리고 수질에 대한 변화이다. 강우시작후 약 3시간 후에 월류량이 가장

크게 나타났으며, 수질은 SS보다는 COD가 증가하는 양상을 띠고 있다. 이 경우 석교지점과 비교시 SS보다 COD가 높은 것은 우오수분리벽 미설치로 인해 강우시 지표수 등에 의한 SS 보다 다량의 오수가 관거내로 유입되는 것을 알 수 있다. 총월류량은 267 m³에 대해 강우량당 월류량은 2,427 m³/mm이고, BOD기준으로 유량가중평균농도 83 mg/L, 월류오염부하량 22 kg, 강우량당 오염부하량 200 kg/mm로 나타났다.

3.2.3. 오염부하 제어효과

Table 5는 우오수분리벽이 설치되어 있지 않은 천석교 지점의 실측값과 우오수분리벽을 설치했을 경우의 가정치를 이용하여 우오수분리벽이 제어효과를 나타낸 것이다. Fig. 11은 차집오염부하량과 월류오염부하량을 서로 쉽게 이해하기 위해 그림으로 나타낸 것이다. 건기시 오수와 계곡수는 전량 차집관거로 유입되지만 우기시는 45%의 제어효과를 나타냈다. 따라서 천석교 지점에 우오수분리벽을 설치하고 실제로 우수가 하수처리구역으로 소량 유입되지만 우기시 하수처리구역에 우수가 관거로 유입되지 않는다고 가정한다면 건기시에는 오수가 전량 차집관거로 차집되고, 우기시에는 우수가 계곡수와 함께 하천으로 유출되므로 차집관거로 유입되는 양은 훨씬 줄 것이다. 현실적으로 합류식 하수처리구역에서는 우오수분리벽이 설치되었더라도 우수가 우수관거에 유입되므로 실제 제어효과는 완전히 100%가 될 수는 없지만 석교지점을 고려해 볼 때 실측치(45%)보다 훨씬 높은 약 80%이상에서 100%정도로 예상된다.

3.3. 분류식 우수관거에서 우오수분리벽 미설치지역 (평송수련원지점)

3.3.1. 건기시

Fig. 12는 건기시 3회 측정한 평송수련원 토구지점에서 하루 중 3시간별 배출되는 오수량의 BOD 변화를 나타낸 것이다. 유량을 고려한 수질 가중평균은 BOD 41 mg/L, COD 160 mg/L, SS 19 mg/L, TN 12 mg/L, TP 1.0 mg/L로 합류식 하수관거에서의 수질보다 비교적 낮았다. 본 지점은 분류식 지역의 우수관거임에도 불구하고 건기시 오수가 배출되는 것은 관거의 오점이나 지하수가 상당량 유입되는 것으로 판단된다. 본 지점의 수질은 합류식 지역인 천석교 지점과 건기시 평균 수질을 비교할 때 BOD는 약

Table 5. Control effects of BOD load for separation wall at Cheonseokgyo

	Period	Flow type	Volume (m ³)	Discharge load (kgBOD)	Intercept load (kgBOD)	Overflow load (kgBOD)	Control efficiency (%)
Forecast w/ wall	Dry	S	49	8.45	to intercept	none	100
		R	70	0.15	to stream	to stream	-
	Wet	S	294	39.1	to intercept	none	100
		R	184	0.9	to stream	to stream	-
Measure w/o wall	Dry	S + R	119	8.6	to intercept	none	100
	Wet	S + R	478	40	18	22	45

Note) S: Sewage, R: Ravine water

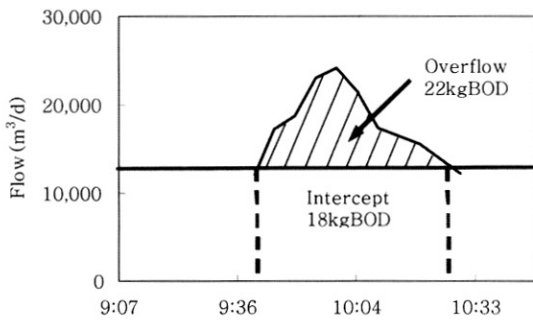


Fig. 11. Comparison of overflow and intercept load during the wet period at Cheonseokgyo.

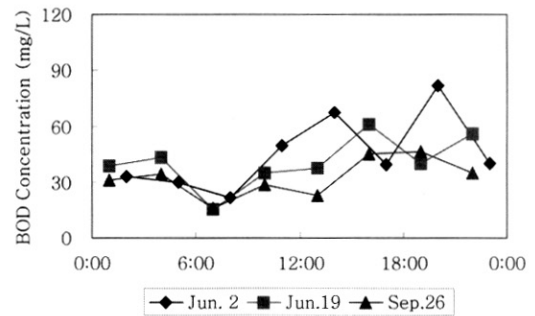


Fig. 12. Hourly change of BOD concentration during the dry period at Pyeongsong center.

57%정도에 해당하는 낮은 수준이고, 다른 수질 항목도 다소 차이는 있지만 약 40~60%로 낮은 수준이지만 이에 대한 수계오염을 방지하기 위해 토구에 우수토실을 설치하여 하수처리장에 이송시키고 있다.

3.3.2. 우기시

Table 6은 우기시 3회 측정된 자료중 2006년 11월 6일 평송수련원 지점에서 오수량과 수질측정결과를 나타낸 것인데, 월류오염부하량이 가장 큰 자료를 나타낸 것이다. 이

경우에 8시 30분경에 비가 오기 시작하여 10시경에 월류가 시작되었고 12시 30분경에 월류가 종료되었다.

Fig. 13은 강우시 시간에 따른 강우량, 유량 그리고 수질에 대한 변화이다. 본 지점은 11월 5일 약 10 mm의 선행 강우가 있었던 지역으로 월류량이 최고시 COD의 수질도 높게 나타난 반면 SS에 의한 수질의 변화는 적었다. 이 경우도 우수수분리벽이 미설치된 지역으로 오점에 의한 오수가 유입되는 영향으로 생각된다.

총월류량은 1,127 m³에 대해 강우량당 월류량은 3,415

Table 6. Results of water quality and flow of sewage during the wet period at Pyeongsong center

Time (Nov. 6)	Flow (m ³ /d)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	Remarks
8:30	13,025	53	639	24	23	0.3	Before overflows
9:45	17,608	38	828	6	18	0.4	
10:00	48,888	70	552	38	16	0.5	
10:15	53,426	99	613	62	16	0.8	Overflow
10:30	62,169	88	706	62	21	0.8	
10:45	69,051	123	714	74	31	1.0	
11:00	69,051	141	1,578	84	36	1.3	
11:15	69,051	87	933	40	39	1.0	
11:30	69,051	80	734	46	45	1.2	
12:00	50,153	63	550	74	16	0.8	
12:30	45,969	76	1,155	76	5	0.6	After overflows were finished
13:00	37,778	43	491	54	12	0.4	
13:30	17,608	35	479	38	14	0.4	
14:00	8,834	36	339	30	18	0.3	
14:30	10,143	29	497	22	11	0.2	
15:00	6,783	28	479	20	11	0.3	
Average	40,537	49	591	45	16	0.5	

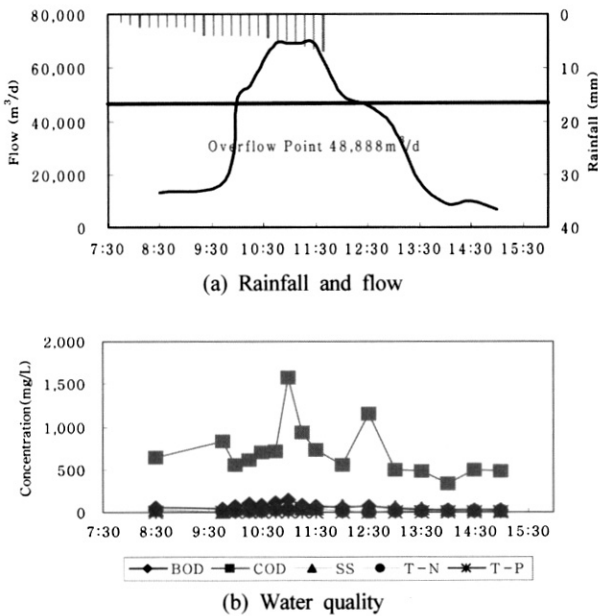


Fig. 13. Changes of water quality and sewage flow during the wet period at Pyeongsong center.

m³/mm이고, BOD기준으로 유량가중평균농도 197 mg/L, 월류오염부하량 222 kg, 강우량당 오염부하량 673 kg/mm로 나타났다.

3.3.3. 오염부하 제어효과

Table 7은 우오수분리벽이 설치되어 있지 않은 평송수련원 지점의 실측값과 우오수분리벽을 설치했을 경우의 가정값을 이용하여 우오수분리벽이 제어효과를 나타낸 것이다. Fig. 14는 차집오염부하량과 월류오염부하량을 서로 쉽게 이해하기 위해 그림으로 나타낸 것이다. 평송수련원 지점은 실측결과 건기시에는 오수와 계곡수가 합류되어 차집관거에 모두 차집되었으며, 우기시 강우강도 0.18 mm/hr일 때 총 BOD부하 1225 kg중에 1003 kgBOD가 차집되고 222 kgBOD가 월류되므로 차집관거를 통해 약 82%의 제어효과를 보였다. 한편, 본 토구지점의 우수시 월류유량이 건기시의 시간최대유량의 약 9배 정도가 되므로, 여기서 차집오염부하량(232 kgBOD)은 3Q에 해당하는 부하량보다 많은 것으로 조사되었다. 따라서 이 경우 3배 정도 과잉차집된 것으로 보아 차집오염부하량을 3Q에 해당하는 334 kgBOD로 본다면 제어효과는 약 27%(334/1225≈27%)에 불과한 것으로 예상된다. 따라서 분류식 하수관거지역에서 우수관

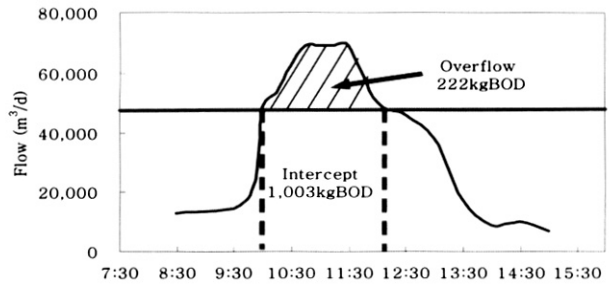


Fig. 14. Comparison of overflow and intercept load during the wet period at Pyeongsong center.

거내 우오수분리벽을 합류식 하수관거와 같이 설치한다면 초기강우시 월류오염부하량을 최소한 약 80%이상 100%정도까지 제어할 수 있을 것으로 예상된다.

4. 결론

합류식 및 분류식 하수관거에서 갈수시의 수질특성과 우수시의 월류수 특성을 조사하여 오수가 유입되는 분류식 하수관거의 우수관거에 우오수분리벽 설치에 따른 오염부하 제어 가능성을 다음과 같이 제시하였다.

- 1) 합류식 하수관거내 우오수분리벽이 설치된 석교 지점은 건기시 계곡수량이 오수량보다 약 4배 이상 많이 분리되어 하천에 유입되는 효과를 나타냈다.
- 2) 건기시 합류식 하수관거에서 우오수분리벽이 설치된 석교 지점에서 오수의 수질은 가중평균 BOD 61 mg/L, 우오수분리벽이 미설치된 천석교 지점은 BOD 71 mg/L, 분류식 우수관거인 평송수련원 지점은 BOD 41 mg/L로 나타났으며, 분류식 우수관거에서의 BOD 농도가 우오수분리벽이 미설치된 합류식 하수관거에 비해 약 57% 정도로 나타나 분류식 우수관거내에도 오수가 유입됨을 알 수 있었다.
- 3) 우수시 월류오염부하량은 석교 0.5 BODkg, 천석교 22 BODkg으로 나타났으며, 천석교가 석교보다 약 37배 많았다. 강우량당 월류부하량은 석교 4.5 BODkg/mm, 천석교 200 BODkg/mm로 역시 천석교가 석교보다 약 44배 정도 많았다. 이것은 우오수분리벽이 설치된 석교지점이 미설치된 천석교보다 월류오염부하량은 더 많이 제어할 수 있음을 보여주고 있다. 분류식 우수관거인 평송수련원 지점은 월류오염부하량

Table 7. Control effects of BOD load for separation wall at Pyeongsong center

	Period	Flow type	Volume (m ³)	Discharge load (kgBOD)	Intercept load (kgBOD)	Overflow load (kgBOD)	Control efficiency (%)
Measure w/ wall	Dry	S	283	16.22	to intercept	none	100
		R	140	0.28	to stream	to stream	-
	Wet	S	5,093	448	to intercept	none	100
		R	1,127	6	to stream	to stream	-
Forecast w/o wall	Dry	S + R	423	16.5	to intercept	none	100
	Wet	S + R	6,219	1,225	1,003	222	82

Note) S: Sewage, R: Ravine water

222 BODkg이고, 강우량당 오염부하량은 673 BODkg/mm이다. 이 경우 천석교와 비교할 때 월류오염부하량은 10배, 강우량당 오염부하량은 3배 정도의 높은 부하량을 나타내고 있어 분류식 우수관거에서도 월류수의 오염부하제어 방안이 필요한 것을 알 수 있다.

- 4) 초기강우시 우수분리벽 설치에 따른 제어효과는 BOD 오염부하량으로 평가한 결과 합류식 하수관거인 석교지점에서 미설치로 가정한 경우(45%)보다 현재 설치한 경우가 79%로 증감되었고, 천석교지점은 현재 미설치한 경우가 45%이지만 설치를 가정할 경우 약 80%이상 될 것으로 예상된다. 또한, 분류식 우수관거인 평송수련원 지점의 경우 현재 미설치된 지역으로 27%의 제어효과를 예측할 수 있으나 설치할 경우 최소한 약 80%이상에서 100%정도까지 될 것으로 예상된다.

사 사

본 연구는 대전환경기술개발센터의 2006년도 연구개발사업 지원에 의해 이루어진 것이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 강금배, 윤현식, 권영석, 최의소, 도심지 합류식 하수관거 월류수 및 분류식 우수유출 오염부하 산정, *대한상하수도학회 · 한국물환경학회 2003년도 공동 추계학술 발표회 논문집*, pp. 87-90 (2003).
- 김경한, CSO처리시설 설치사례 연구, (주)물사랑 신문사 2006 상반기 물종합기술연관회, pp. 249-259 (2006).
- 방기웅, 이준호, 김일기, 도시지역에서의 강우시 유출퇴적물의 관리방안, *대한환경공학회 대전 · 충청지회 학술세미나*, pp. 109-110 (2002).
- 이광춘, 최봉철, 임봉수, 우수분리벽을 이용한 합류식 하수관거의 오염물질 제어효과, *상하수도학회지*, **18**(4), pp. 461-469 (2004a).
- 이두진, 신응배, 윤현식, 선상운, 광수동, 분류식 우수유출 오염부하 비교를 통한 CSOs 저감목표 설정 기초연구, *대한환경공학회지*, **25**(11), pp. 1420-1428 (2003a).
- 이두진, 윤현식, 신응배, 도시지역 합류식 하수관거 월류수의 발생특성 및 오염기원 평가, *대한토목학회논문집, 대한토목학회*, **23**(6B), pp. 597-606 (2003b).
- 이두진, 신응배, 강우유출 모델을 이용한 합류식 하수관거 월류수 저류시설의 용량 결정에 관한 연구(1), *대한환경공학회지*, **26**(3), pp. 362-369 (2004b).
- 이두진, 윤현식, 건기 침입수/유입수 저감에 따른 CSOs 오염부하 삭감효과 예측, *대한토목학회논문집, 대한토목학회*, **24**(3B), pp. 273-280 (2004c).
- 이태관, 장희은, 김학석, 합류식 하수관거 및 분류식 우수관거 제어기술 개발, *대한상하수도학회 · 한국물환경학회 2003년도 공동 추계학술발표회 논문집*, pp. 79-82 (2003c).
- 임봉수, 대전시 분류식 우수관거의 초기강우시 오염부하 저감방안, 대전 · 충남지역 대전환경기술개발센터, pp. 33-39 (2006).
- 임봉수, 김은동, 이광우, 이광춘, 하수차집관거 내에 토사와 계곡수 유입방지를 위한 대안, *대한환경공학회 2001년 추계학술연구발표회 논문집(1)*, pp. 117-118 (2001).
- 조주연, 정호진, 합류식 하수관거의 월류수(CSOs) 관리방안 고찰, *환경과학논집*, **7**(1), pp. 253-263 (2002).
- 최봉철, 임봉수, 이광춘, 합류식 하수관거에서 우수분리벽을 이용한 계곡수 분리 효과, *대한상하수도학회 · 한국물환경학회 2003년도 공동 추계학술발표회 논문집*, pp. 611-614 (2003a).
- 최봉철, 이태홍, 황문장, 임봉수, 합류식 하수관거의 침투수/유입수 분석 및 월류수에 대한 조사, *대한상하수도학회 · 한국물환경학회 2003년 공동 추계학술발표회 논문집*, pp. 249-252 (2003b).
- 최의소, *상하수도공학*, 청문각 (2001).
- 환경관리공단, 도심지 합류식하수관거 월류수 및 분류식 우수관거 우수유출 오염부하 기초조사 연구 (2004).
- 환경부, 2004년 환경백서 (2005).
- 환경부, 2005년 하수도통계 (2006a).
- 환경부, 하수관거정비계획 수립지침 개발 등에 관한 연구 최종보고서 (2006b).
- 鳥津 暉之, 合流式下水道の 雨水土室の 水質汚濁負荷量 ところの 削減對策, *用水と 廢水*, **38**(10), pp. 837-842 (1996).
- APHA, AWWA, WEF, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th Ed., Washington D.C. (1998).
- Lape, J. L. and Dwyer, T. L., A New Policy on COSs, *Water Environment & Technology*, Water Environment Federation, **6**(5), pp. 54-58 (1994).
- Whipple, W. and Hunter, J. V., Settleability of Urban Runoff Pollution, *J. of Water Pollution Control Federation*, **53**(12), pp. 1726-1731 (1981).