

우수토실에 설치된 월류수 제어를 위한 유입유량조절장치의 개선효과

임봉수[†] · 박윤해 · 김태응^{*}

대전대학교 환경공학과
^{*}대전대학교 환경문제연구소

Improvements of Inflow Controller Installed in Storm Overflow Diverging Tank for CSOs Control

Bong-Su Lim[†] · Youn-Hae Park · Tae-Eung Kim^{*}

Department of Environmental Engineering, Daejeon University,

^{*}The Institute of Environmental Studies, Daejeon University

(Received 18 May 2015, Revised 24 July 2015, Accepted 29 July 2015)

Abstract

This study was carried out to evaluate the performance of a inflow controller for the control of combined sewer overflows (CSOs). Because of the inflow controller could be adjusted manually by predicting the maximum amount of peak flow, the mechanical adjustment of this controller was higher than the existing fixed-type controller in field application. Standardizing the relationship between the flow and the clearance and angle of an inlet cover plate on the inflow conditions can be selected to the optimum conditions for the on-site. It was concluded that BOD pollutant loading at the region in which inflow controller was installed had shown the removal efficiency rate of 42%.

Key words : Combined Sewer Overflows (CSOs), Inflow Controller, Inlet Cover Plate, Peak Flow

1. Introduction

비점오염원은 도로노면의 협잡물, 타이어의 마모로 생겨난 먼지, 농경지에 쓰인 농약, 하수관로의 낮은 수심과 유속으로 생겨난 퇴적물 등이 있다. 합류식 하수관로의 월류수(Combined Sewer Overflows, CSOs)는 강우시 도시의 지면에서 발생하는 비점오염물질들이 유입되며, 이 비점오염물질들과 오수가 섞여 도시내 하천으로 유입된다. 월류수는 상대적으로 고농도의 오염물을 함유하고 있으며 방류수역의 수질오염을 가중시켜 수생환경, 상수공급, 어패류의 폐사 등과 관련된 수질환경에 영향을 미치고 있다. 이렇게 유입된 월류수는 하천 생태계 파괴, 악취 등의 문제점이 발생하며 생태계를 다시 복구하기까지 유지관리, 관로 시스템개선, 처리기술 등의 비용이 증가하여 많은 환경적 그리고 경제적 문제가 발생한다(Cho et al., 2011).

상기 문제 해결을 위해 우수토실에 유입유량 조절과 토사유입 방지를 위한 장치가 설치되어 있으며, 이 장치들은 차집관로로 유입되는 오수의 수위 고저에 의한 개폐방식으로 되어 있다. 강우시 수위 고저에 의한 개폐방식의 장치들은

하수차집관로에 유입되는 하수 또는 우수에 의한 희석으로 인해 유입수질이 좋아져도 유입수위가 낮아져 개폐장치가 열리면 전량 차집되어 하수종말처리시설로 유입되므로 처리시설의 유량을 증가시켜 결과적으로 하수처리시설 내 유입하수의 농도를 희석시켜 처리효율을 저하시키게 된다. 또한, 하수도시설기준에 의하면 합류식 하수관로에서 우천시 계획오수량은 계획시간최대오수량의 3배 (3Q) 이상으로 하여 하수처리시설에 유입된 하수량은 1차 처리한 후 2Q는 by-pass하여 방류하고, 1Q는 생물반응조에 유입시켜 처리하고 있다. 이 경우 처리되지 않고 방류되는 미처리수가 수계의 수질을 악화시키고, 수중생태계를 파괴시키는 주원인이 되고 있다(MOE, 2011). 차집관로의 유지관리, 하수처리시설의 처리효율 향상, 그리고 강우에 의한 비점오염물질의 관리를 위해서는 차집관로로 유입되는 우수토실의 유량과 월류수를 현장 특성에 적합하게 유입유량을 조절하는 기술이 필요하다.

따라서 본 연구는 기존 우수토실에서 토사유입을 방지하기 위해 월류량이 상시 개폐문을 폐쇄하기만 하는 장치를 개선하기 위해 유입유량 조절이 가능한 장치로(뿔개관 각도 및 유입유량 간격 조정이 가능) 개발하였는데 이에 대한 성능을 평가하여 현장 활용성을 높이는데 필요한 기초 자료를 얻고자 한다.

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

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

2. Materials and Methods

2.1. 우수토실에 설치된 유입유량조절장치

Fig. 1의 우수토실에 설치된 유입유량조절장치는 H회사에서 개발한 특허(제10-137813호) 장치로서 유입유량조절장치의 덮개판(cover)과 개폐구(hole)를 나타내고 있는데, 덮개판은 각도를 자유롭게 조절할 수 있고, 개폐구는 좌우로 이동시킬 수 있는 간격이 있으므로 개폐구의 간격과 덮개판의 각도를 조합시켜 차집관으로 유입되는 유량을 조절할 수 있다. 갈수시에 토구내의 유량이 충분하지 못하므로 3Q이상의 유량을 충분히 확보하기 위하여 강우 후에 현장의 조건을 적절히 조정하여 유량을 다양하게 변화시켰다. 즉, 유입유량조절장치 상류의 약 4 m 지점에 우·오수 분리벽의 일부를 제거하고, 계곡수가 흐르는 부위에 다량의 모래주머니를 쌓아 모래뚝을 만들어 계곡수가 우·오수 분리벽 내부로 유입되어 우수와 오수가 합류되도록 하였다.

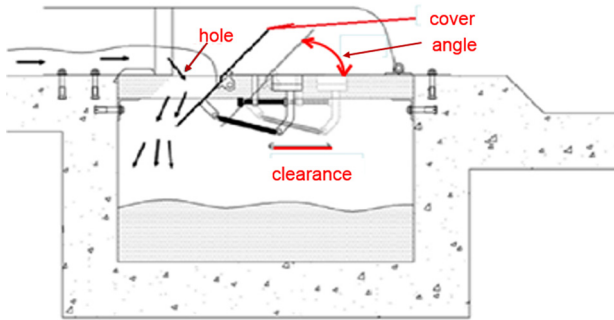


Fig. 1. Cover and hole of inflow controller.

유입유량조절장치의 덮개판이 닫히는 시점의 유량을 월류량으로 보고 유량을 차집하기 위한 덮개판의 각도 및 개폐구 간격을 선정하였다. 덮개판의 각도는 최저 15도, 30도, 45도, 그리고 60도로 변화시켰으며 개폐구의 간격은 대, 중, 소의 위치에 설치하여 각도와 간격을 조합하여 유입유량조절장치의 월류량을 측정하였다.

2.2. 대상지역

연구 대상지역으로 선정된 지역은 대전시 동구 낭월동에 위치하고 있는 2련 BOX의 토구로서 합류식지역이다. 토구와 연결된 하수관거의 길이는 총 553.2 m이고 좌측에 우오수분리벽이 길이 478.2 m, 넓이 0.6 m, 높이 0.5 m로 설치되어 있으며 우오수분리벽쪽 하수관거가 끝나는 토구에 유입유량조절장치를 설치하여 본 장치에 대한 성능을 평가하였다. Table 1에서는 연구대상지역인 측정지점의 위치와 일반현황을 나타내고 있으며, Fig. 2는 합류식 하수관로의 단면도를, Fig. 3은 유입유량조절장치가 설치된 위치의 전경

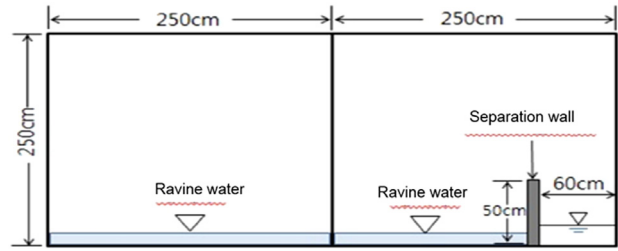


Fig. 2. Brief section of sampling outfall.



Fig. 3. Photo of inflow controller installed at the outfall.

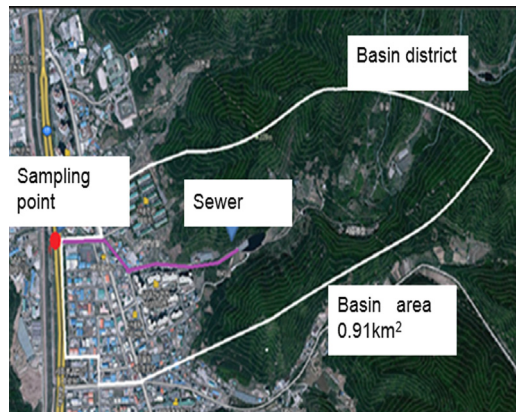


Fig. 4. Basin area of investigation point.

그리고 Fig. 4는 대상지역의 하수관거로 유입되는 배수면적과 현장 위치를 각각 나타내고 있다.

2.3. 조사방법

2.3.1. 유량측정

합류식 하수관로 내 우오수분리벽이 설치되어 있는 본 지점의 오수와 계곡수 지점의 유량측정은 유속·단면적 측정방법을 사용하였으며, 유속계(DONG MOON ENT Co. Ltd., Model FP111)를 사용하여 유속을 측정하였고, 수심은 플라스트 수심자를 이용하여 측정해 단면적을 산출하였다.

Table 1. Location and general information of sampling points

Point	Location	Box size	Basin area (km ²)
Daejeoncheon upstream	Nangwol-dong, Dong-gu, Daejeon city (Near 110 dong, O ₂ grande apartment)	Two serise box (2.5 m × 2.5 m) (Seperation wall of stormwater and sewage installed)	0.91

2.3.2. 수질측정

시료는 시료의 성상, 유량, 유속 등의 시간에 따른 변화를 고려하여 현장에서 계곡수, 오수, 우수 등의 성질을 대표할 수 있도록 채취하였으며, 강우시 유량의 변화가 심하다고 판단될 때에는 오염상태를 잘 알 수 있도록 시료의 채취 횟수를 늘려 채취하였다. 현장에서 채취한 시료는 ICE BOX에 보관하여 시료채취가 모두 끝난 후에 가능한 속히 실험실로 운반하여 시료분석을 실시하였다.

수질측정은 건기시와 강우시 동일한 측정방법으로 수질오염공정시험법(MOE, 2014)에 의하여 수행하였으며, 수질항목은 BOD, COD, SS, T-N, T-P, 탁도를 측정하였다. 탁도는 탁도계(LOVELAND, COLO. USA 46500-00)을 사용하였고, 전기전도도는 전도도계(YSI Model 33)을 사용하였다. COD 분석은 중크롬산칼륨(K₂Cr₂O₇)을 산화제로 사용한 방법이며 APHA, AWWA, and WEF (2005)에 의해 분석하였다.

2.3.3. 월류수 조사 방법

강우시 차집관로로 유입되지 않고 월류되는 시간과 월류가 끝나는 종점의 시간을 기록하여 월류구간의 유량에 그 시간을 곱하여 월류수를 산정하였다. 월류수의 계산식(KWWW, 2011)은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \text{총 월류량}(m^3) &= \sum(Q \times t) \\ Q &: \text{월류시점부터 월류종점 사이의 유량} \\ t &: \text{월류 시간간격} \end{aligned}$$

각 지점에서 월류량에 유역면적을 나누어 유효강우량을 구하여 월류량에 직접 기여하는 강우량으로 계산하였다.

$$\text{유효강우량}(mm) = \frac{\text{월류량}(m^3)}{\text{유역면적}(m^2)} \div 1,000$$

월류시점과 종점사이의 유량, 측정농도, 시간을 곱하여 모두 합한 값에 총 월류량으로 나누어 유량가중평균농도(event mean concentration; EMC)를 구하여 월류구간 사이의 평균농도(mg/L)를 산정하였으며 이때의 유량가중평균농도에 월류량을 곱하여 월류시 발생하는 월류오염부하량(kg)을 산정하였다. 이 두 가지 계산식은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \text{유량가중평균농도}(mg/L) &= \frac{\text{강우사상별총오염물질발생량}(kg)}{\text{강우사상별총강우유출량}(m^3)} \\ &= \frac{\sum Q \cdot C_i}{\sum Q} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{월류오염부하량}(kg) &= \text{유량가중평균농도}(mg/L) \\ &\quad \times \text{총 월류량}(m^3) \end{aligned}$$

3. Results and Discussion

3.1. 건기시 유량 및 수질분석 결과

Table 2는 측정지점에서 건기시 하천에서 바라볼 때 좌측 BOX에서 2014년 6월 30일을 시작으로 3시간별 계곡수와 오수의 유량측정 결과를 나타낸 것이고, Fig. 5는 시간별 유

Table 2. Results of flow during the dry period at sampling point

Time (2014. 6. 30)	Ravine water flow (m ³ /d)	Sewage flow (m ³ /d)
1:00	73	505
4:00	73	201
7:00	73	369
10:00	73	337
13:00	73	229
16:00	73	369
19:00	0	287
22:00	73	673
Average	64	371

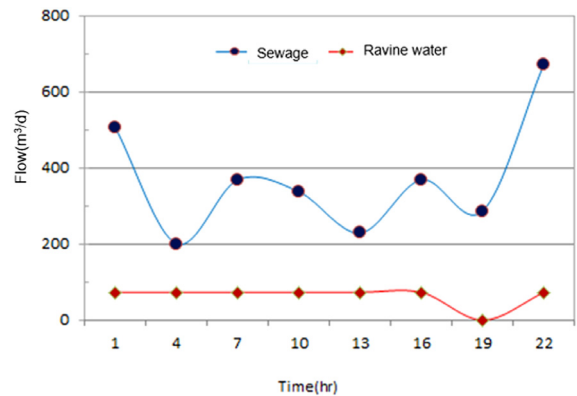


Fig. 5. Hourly change of sewage and ravine water during the dry period.

량변화를 도시한 것이다. 오수는 시간에 따라 변화가 발생되고 오전 7시경과 오후 4시경에 높은 유량을 보이다가 오후 10시경에 최대 유량을 나타내고 있다. 평균 오수량은 371 m³/d이며, 시간최대하수량은 3시간 간격으로 유량측정을 하였기 때문에 정확한 근거를 두기 어렵지만 평균 유량의 2배로 가정한다면 742 m³/d로 볼 수 있다. 갈수시 토구 지점에서 유출되는 총유량의 약 15% 정도가 계곡수량에 해당되며 우오수분리벽의 설치에 의해 계곡수량이 차집관거에 유입되지 않고 하천으로 유출되는 효과를 나타내고 있다. 토구지점의 상류에 계곡수량이 오수량보다 많은 지점에는 더 큰 효과를 나타내며 이와같은 예로 청주지역의 미평천 지점에는 계곡수량이 오수량보다 약 6.4배 많게 측정(Choi et al., 2003)되었고, 대전시 동구 대사천지점에서의 계곡수량은 오수량보다 약 20배 많게 측정(Lee et al., 2004)되어 계곡수량을 많이 가질 수 있는 산림지역이 큰 지역일수록 건기시 계곡수와 오수의 분리효과가 크다는 것을 알 수 있다.

오수의 수질은 평균 BOD 159 mg/L, 평균 CODcr 191 mg/L, 그리고 평균 탁도는 70 NTU로 나타났는데 이 결과는 최근 대전시 공공하수처리시설의 평균 유입수의 농도와 거의 비슷하였다(Park and Song, 2014). 또한, Shin and Yoon (1998)의 연구에 의하면 합류식 하수관거의 오수 수질이 CODcr 163~202 mg/L, SS 57~106 mg/L로 유사하다. BOD와 COD는 16시경에 가장 낮은 농도를 나타냈으며 탁도는 거의 변화가 적었는데 어느 정도 부유물질이 침전되는 것으로 판단된다. 반면에 계곡수의 수질은 평균 BOD 1.4 mg/L로 대부분 3 mg/L이하에 수준이고, 평균 CODcr 12 mg/L,

Table 3. Results of sewage and ravine water flow and quality during the dry period

Time (2014. 6. 30)	Sewage				Ravine water			
	Flow (m ³ /d)	BOD (mg/L)	CODcr (mg/L)	Turbidity (NTU)	Flow (m ³ /d)	BOD (mg/L)	CODcr (mg/L)	Turbidity (NTU)
1:00	505	219	241	71.0	73	2.2	15	4.4
4:00	201	210	210	70.8	73	2.9	17	9.0
7:00	369	160	195	70.6	73	-	-	-
10:00	337	185	199	75.9	73	0.9	13	4.8
13:00	229	124	159	82.5	73	1.4	12	8.8
16:00	369	95	122	71.6	73	0.8	10	6.3
19:00	287	143	210	62.0	0	1.0	12	4.6
22:00	673	134	194	59.3	73	1.7	15	5.7
Average	371	162.29	190.86	72.06	64	1.4	12	5.41

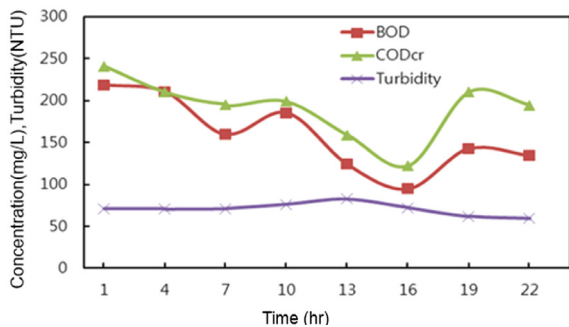


Fig. 6. Changes of water quality of sewage during the dry period.

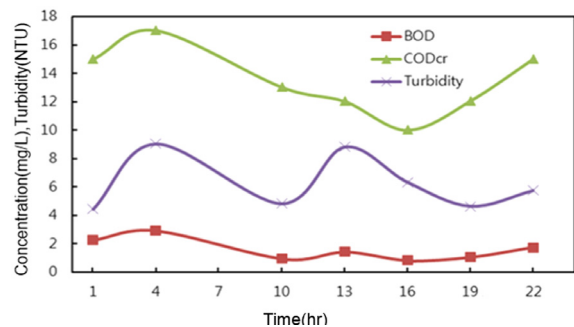


Fig. 7. Changes of water quality of ravine water during the dry period.

평균 탁도 5.5 NTU로 매우 낮게 나타났다. Table 3은 건기시 오수 및 계곡수의 유량과 수질측정 결과이고, Fig. 6과 Fig. 7은 시간별 오수의 수질변화와 계곡수의 수질의 변화를 각각 나타내고 있다. 이와같이 계곡수와 오수의 수질이 동일한 토구내에서 완연하게 다르게 나타나는 것은 토구내 우수분리벽의 설치에 의해 토구에 유입되는 오수와 계곡에서 유입되는 계곡수가 분리되는 효과가 매우 높은 것을 보여주고 있다.

3.2. 개선 전·후 유입유량조절장치의 유량 성능조사

덮개판의 각도를 30도, 45도, 그리고 60도로 개폐구의 간격을 대(11.5 cm), 중(7.5 cm) 소(4 cm)로 조건을 변경하면서 덮개판이 닫힌 시점을 월류시기로 보고 월류량을 조사하여 Table 4에 나타났다. 각 단계별로 2회씩 유량을 측정하여 평균 유량을 구하였으며, 적은 유량으로 시작하여 큰 유량으로 변화시키면서 측정하였다. 덮개판 각도 30도, 개폐구 간격 4 cm에서 최소 4,920 m³/d로 나타났고, 덮개판 각도 60도, 개폐구 간격 11.5 cm에서 최대 11,608 m³/d까지 월류량을 측정할 수 있었다.

Fig. 8은 유입유량조절장치의 성능조건에 따른 월류량을 조사한 것이다. 조사 지점에서 시간최대오수량의 3배(3Q)가 강우시에 차집판저에 차집되어 3Q이상의 유량은 하천으로 월류되는 것으로 하수도 시설기준에서 설계하는 것으로 되어 있다. 따라서 조사 지점의 3Q는 742 × 3 = 2,226 m³/d로 볼 수 있는데 Table 4에서 최소 월류량은 4,920 m³/d이므로 3Q의 약 2.2배로 초과되는 유량이었다. 즉, 본 지점에 이와 같은 성능을 갖는 유입유량조절장치를 설치한다면 강우시

Table 4. Results of flow measurement according to conditions of inflow controller

Order	Conditions		Velocity (m/s)	Section area (m ²)	Flow (m ³ /d)	Average flow (m ³ /d)	
	Angle	Clearance (cm)					
1	30°	4	1.2	0.047	4,920	4,920	
			1.2	0.047	4,920		
7.5		1.2	0.058	5,988	6,237		
		1.3	0.058	6,486			
3		11.5	1.3	0.075	8,390	8,713	
			1.4	0.075	9,036		
4		45°	4	1.7	0.053	7,711	7,484
				1.6	0.053	7,258	
7.5			1.4	1.4	8,328	7,733	
	1.2		1.2	7,138			
6	11.5		1.3	1.3	9,772	10,148	
			1.4	1.4	10,524		
7	60°		4	1.7	1.7	8,482	8,610
				1.6	1.6	8,737	
7.5			1.4	1.4	10,524	9,772	
		1.2	1.2	9,020			
9		11.5	1.3	1.3	11,670	11,608	
			1.4	1.4	11,546		

많은 양의 오수가 차집되어 하수처리시설로 이송되므로 차집 유량을 줄이기 위한 장치의 개선이 필요할 것으로 판단되었다.

본 장치의 특성인 덮개판의 각도는 임의로 조정가능한 인장스프링 장력조절기를 조절하여 덮개판이 강우시 월류량에 도달하면 속히 닫히고 유량이 월류량에 미치지 아니하고 감소될 경우에는 속히 원상복귀 되어 열리도록 되어 있다. 또한

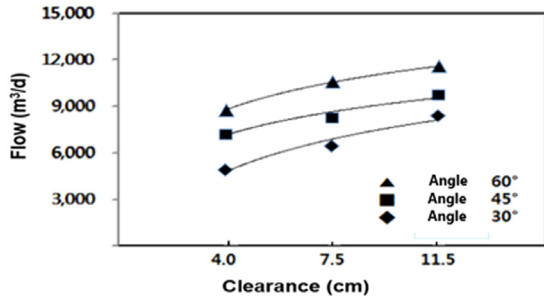


Fig. 8. Overflow by conditions before improvement of inflow controller.

유량이 차집관로로 유입되는 개폐구의 간격을 조절가능한 와류방지용 물넘이를 20 cm에서 12 cm로 절단하여 유량을 증가시킴으로 인해 수리학적으로 덮개판의 아래부분에 수압을 가함으로 전체 유량을 감소시켜 덮개판을 단도록 장치를 개선하였다.

Table 5는 유입유량조절장치의 장력을 조절한 개선 후의 유입유량조절장치의 여러 가지 성능조건에 따른 유량측정한 결과이다. 여기서는 개선 전에 1차 유량성능조사에 추가적으로 적은 유량까지도 측정할 수 있도록 덮개판 각도를 15도까지 낮추어 측정하였다. 즉 덮개판 각도의 조건은 15도, 30도, 45도, 그리고 60도로 하였고 개폐구의 간격은 대(13.5 cm), 중(9 cm), 소(6 cm)로 하여 월류량을 조사하였다.

Fig. 9는 개선후 유입유량조절장치의 성능조건에 따른 월류량을 조사한 것이다. 그 결과 최소 월류량은 1,243 m³/d에서 최대 월류량은 9,100 m³/d까지 측정할 수 있었으며 최소 월류량 기준으로 볼 때 1차 측정치(최소유량 4,920 m³/d)의 약 20%정도로 유량을 감소시킬 수 있었다. 본 지점에서 3Q(2,226 m³/d)에 도달할 수 있는 유량을 확보할 수 있었다. 즉 덮개판 각도 15도, 개폐구 간격 6 cm에서 측정된 1,243 m³/d를 초과할 수 있었고, 덮개판 각도 30도, 개폐구 간격 6 cm에서 측정된 1,764 m³/d도 초과할 수 있었다. 따라서 본 연구에서 3Q를 확보할 수 있는 두 조건의 경우를 적용할 수 있었으며 강우시 특성을 충분히 확보하기 위해 각도 15도, 간격 6 cm의 조건으로 조정(setting)하여 현장에 설치하였다.

3.3. 개선후 유입유량조절장치 월류수의 특성조사

Table 6은 강우시 3Q를 확보할 수 있는 조건(각도 15도, 간격 6 cm로 고정)에서 개선된 유입유량조절장치를 설치한 이후에 시간에 따른 유량 측정 결과로 2014년 10월 31일에 측정된 자료이다. 현장에 도착한 시기인 오전 10시 30분부터 유량을 측정하였는데 이미 월류량을 초과한 상태였으며 1차 월류가 끝나는 시간은 오후 15시경으로 월류량은 1,686 m³/d로 측정되었다. 이 시점에서 5분전에 유량은 2,334 m³/d로 측정되었으므로 갈수시에 평균 유량으로 유추한 3Q(2,226 m³/d)에 거의 근접하는 시점이었다. 15시 50분에 재월류하였으며 오후 17시 이후에는 급격한 유량 증가로 더 이상 측정할 수 없었다. Table 6에서 음영으로 흐린부분이 월류시기에 측정된 결과이고, 강우량은 당일 기상청의 현장에서 가장 가까운 측정지점의 시간별 강우량 자료이다.

Table 5. Results of flow measurement according to conditions of inflow controller

Order	Conditions		Velocity (m/s)	Water depth (m)	Flow (m³/d)	Average flow (m³/d)
	Angle	Clearance (cm)				
1	15°	6	0.5	0.078	1,243	1,243
			0.5	0.078	1,243	
2	15°	9	0.7	0.130	3,106	3,134
			0.7	0.132	3,161	
3	15°	13.5	0.9	0.132	4,065	3,839
			0.8	0.132	3,613	
4	30°	6	0.5	0.105	1,735	1,764
			0.5	0.108	1,792	
5	30°	9	0.9	0.139	4,318	4,078
			0.8	0.139	3,838	
6	30°	13.5	1.1	0.155	6,003	5,980
			1.1	0.154	5,957	
4	45°	6	0.5	0.157	2,771	2,750
			0.5	0.155	2,729	
5	45°	9	0.9	0.154	4,874	5,045
			0.9	0.163	5,216	
6	45°	13.5	1.0	0.187	6,842	7,111
			1.1	0.184	7,380	
7	60°	6	0.5	0.173	3,113	3,168
			0.5	0.178	3,222	
8	60°	9	0.9	0.189	6,239	6,199
			0.9	0.187	6,158	
9	60°	13.5	1.2	0.200	8,911	9,100
			1.2	0.207	9,289	

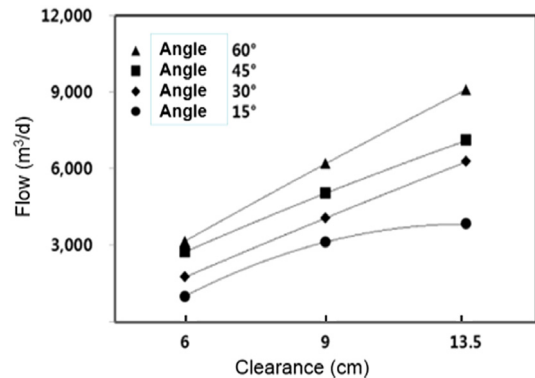


Fig. 9. Overflow by conditions after improvement of inflow controller.

Fig. 10은 개선후 강우시 시간에 따른 유입유량조절장치가 설치된 우수토실에서의 유량 변화를 나타내고 있으며 최초 월류시점의 측정유량은 유량곡선의 특성을 유추하여 대략 오전 9시 30분경으로 보여진다. 현장에서 육안으로 보고 측정된 월류시점에서 월류량은 1,686 m³/d이었는데 3Q(2,226 m³/d)의 약 76%에 해당하는 적은 월류량으로 나타났다. 한편 이 시점에서 월류량 측정시기는 덮개판이 닫히지 않은 상태에서 측정된 것이다. 월류량보다 적은 경우에 임의로 덮개판이 닫혔는데도 다시 열려지는 복귀현상이 일어나지 않은 것으로 보아 장치에 문제점이 있는 것으로 판단된다.

Table 6. Results of flow during the wet period over 3Q condition

Time (2014. 10. 31)	Velocity (m/s)	Depth (m)	Flow (m ³ /d)	Inflow of side sewer (m ³ /d)	Total flow (m ³ /d)	Rainfall (mm)	Remarks
10:30	0.7	0.165	4,416	186	4,602	3.0	First overflow
10:40	0.8	0.16	4,866	189	5,055		
10:45	0.9	0.17	5,883	145	6,028		
10:50	0.9	0.16	5,474	153	5,627		
11:10	1.0	0.17	6,536	186	6,722	3.3	
11:20	0.9	0.16	5,474	177	5,651		
11:40	0.7	0.14	3,641	145	3,786		
12:00	0.7	0.13	3,342	100	3,442		
12:50	0.7	0.19	5,228	159	5,387	4.9	
13:10	1.1	0.19	8,216	236	8,452	3.1	
13:20	1.1	0.18	7,698	220	7,918		
14:00	0.8	0.16	4,866	177	5,043		
14:20	0.8	0.14	4,161	162	4,323		
14:50	0.7	0.11	2,761	130	2,891	4.0	
14:55	0.7	0.09	2,204	130	2,334		
15:00	0.6	0.08	1,659	27	1,686		
15:05	0.6	0.07	1,433	27	1,460		
15:10	0.6	0.07	1,433	27	1,460	1.8	
15:20	0.6	0.07	1,433	0	1,433		
15:25	0.5	0.06	1,011	0	1,011		
15:30	0.45	0.06	910	130	1,040		
15:50	0.7	0.09	2,204	262	2,466		
16:00	1.0	0.17	6,536	262	6,798	3.5	
16:10	1.1	0.17	6,705	262	6,967		
16:20	0.8	0.14	4,161	145	4,306		
16:30	0.9	0.11	3,550	100	3,650		
17:00	1.2	0.14	6,242	145	6,387		
Average	1.8	0.13	4,150	144	4,294		3.37

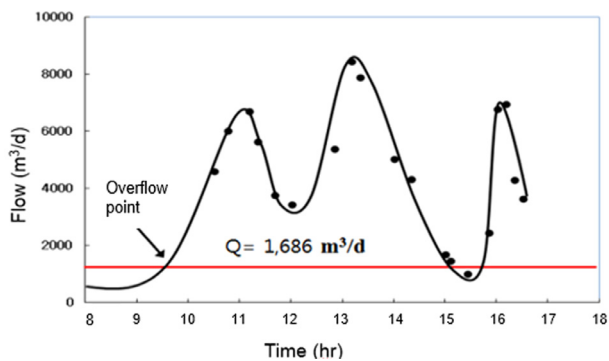


Fig. 10. Changes of flow during the wet period at sampling point.

16시 이후에 월류량이 증가하여 덮개판이 닫힐 것으로 예상했으나 이 경우 역시 덮개판이 닫히지 않는 상태에서 월류한 것을 발견할 수 있었다. 개폐문의 각도 15도, 개폐구의 간격이 6 cm로 본 유입유량조절장치를 설치할 경우 유량의 변화에 민감하기 때문에 덮개판의 작동이 원활하지 않으므로 이에 대한 기계적인 보완이 필요하다고 판단되며, 이러한 기계적인 보완이 안될 경우에는 덮개판의 각도를 30도 이상으로 설치하여 덮개판의 작동이 수리학적으로 여유있는 월류량에 조건을 맞추어 제어를 하는 것이 바람직하다.

Table 7은 강우시 대상 토구지점에서 유입유량조절장치의 개선후 시간에 따른 수질 측정 결과이다. 동일한 지점에서 시간별 유량곡선을 알아보기 위해 유량 측정은 많이 하였으

나 수질은 짧은 시간내에 수질의 변화가 크지 않을 것으로 예상되어 유량 측정 보다는 시료채취를 적게 하였다. 강우시 최초 월류기간 동안에 수질의 변화를 보면 BOD의 경우 최저 10.3 mg/L, 최고 27.5 mg/L로 최고/최저의 비가 약 2.6배 정도였고, 평균치는 16.6 mg/L로 나타났다. COD의 경우는 최저 28 mg/L, 최고 85 mg/L로 최고/최저의 비가 약 3배정도였고, 평균치는 43 mg/L로 나타났다. 재월류시 수질측정은 초기에는 일부 하였고 재월류가 끝나는 시점에서는 유량이 급속히 증가하여 측정하지 못하였지만 이미 초기강우가 지나간 후이므로 수질의 변화가 클 것으로 생각되지 않는다. 갈수시의 평균 수질이 BOD 159 mg/L, COD 191 mg/L로 나타난 것에 비교해 보면 강우시 평균 수질은 BOD는 약 9.6배정도, COD는 약 4.4배정도 농도가 낮게 나왔으며 이는 우수로 인해 희석된 것을 알 수 있었다.

Fig. 11은 강우시 대상 토구지점에서의 시간에 따른 수질 변화를 나타낸 것이다. 초기 강우시 수질은 유기물질의 농도 대부분이 증가하는 경향을 보였으며 영양소물질은 강우 지속기간 동안 수질 변화가 적은 편이었다. 유량과 수질의 변화를 대조해서 비교해 보면 초기 10시 40분 경에 COD 85 mg/L으로 최고의 농도를 나타냈으나, 13시 10분경에 최대 유량이 나타난 시기에는 COD 32 mg/L으로 나타났으며 약 38%정도로 감소하였다. 이 경우 SS와 전기전도도가 매우 감소하였음을 볼 수 있었다. Fig. 12는 유량과 수질의 상관관계를 나타내고 있는데 초기강우가 이미 지나간 이후에

Table 7. Results of water quality and flow during the wet period over 3Q condition

Time (2014.10.31)	Flow (m ³ /d)	BOD (mg/L)	CODcr (mg/L)	SS (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	EC (μS/cm)	Remarks
10:30	4,602	21.7	49.6	45	3.67	0.06	64	First overflow
10:40	5,055	27.5	84.9	70	2.74	0.08	67	
10:45	6,028	25.6	72	63	2.79	0.03	65	
10:50	5,627	21.3	51	41	0.21	0.07	54	
11:10	6,722	14.5	35.6	40	1.03	0.15	52	
11:40	3,786	10.3	30	28	1.47	0.04	59	
12:50	5,387	12.4	32.1	25	0.1	0.15	44	
14:50	2,891	14.5	31.8	17	3.34	0.22	80	
15:00	1,686	11.5	28.1	18	0.54	0.25	100	
15:30	1,040	12.5	24.4	11	0.32	0.21	139	
16:00	6,798	14.8	46.4	38	0.15	0.13	89	Second overflow
16:30	3,650	13.1	26.9	15	0.12	0.15	67	
Average	4,439	16.96	43	36.00	1.49	0.13	73	

는 유량이 증가하더라도 수질은 증가하지 않은 뚜렷한 경향을 나타내고 있다. 이 경우에 덮개판을 닫아 3Q에 해당하는 유량이 하수관로에 유입되지 않도록 하는 것이 유입유량조절장치의 큰 역할이 될 것으로 볼 수 있다.

3.4. 오염부하량의 비교

건기시 대상지점에서 측정된 결과를 이용하여 오염부하량을 산출한 결과, 건기시에 전체 평균 오염부하량은 BOD 59 kg/d, CODcr 72 kg/d로 나타났으며 22시경과 1시경에 높은 오염부하량을 보였다. 또한 강우시 평균 오염부하량은 BOD 78 kg/d, CODcr 207 kg/d, SS 174 kg/d, TN 6.18 kg/d, TP 0.49 kg/d로 나타났으며, 월류가 지속되던 10시 30분부터 11시 10분까지 40분동안 오염부하량이 높게 측정되었다.

Table 8은 강우시 대상지점의 월류오염부하량 분석 결과를 나타낸 것이다. BOD기준으로 유량가중평균농도 16 mg/L, 월류오염부하량 11 kg, 강우량당 월류오염부하량은 0.9 kg/mm로 나타났다.

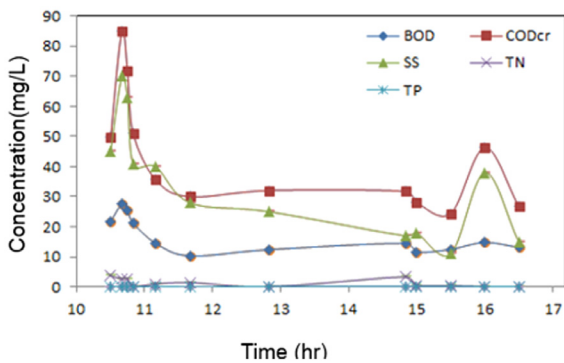


Fig. 11. Changes of water quality during the wet period at sampling point.

Table 9. Comparison of average pollution load at sampling point

	Flow (m ³ /d)	BOD (kg/d)	CODcr (kg/d)
Average value at dry period(A)	371	59	71
Maximum value at dry period	673	111	131
Average value at wet period	4,439	78	207
Maximum value at wet period(B)	6,798	154	434
B/A ratio	18.3	2.6	6.1

Table 9는 대상지점의 평균 오염부하량을 건기시와 강우시를 비교한 것이다. 건기시와 강우시를 비교해보면 유량은 약 12배 증가하며, 오염부하량은 BOD 약 1.3배, CODcr 약 2.9배 정도 증가하는 것으로 나타났다. 본 연구와 같은 하천의 합류식 토구에 우오수분리벽이 설치된 지역에서 강우시 평균유량이 갈수시에 비해 3배 증가하여 오염부하량은 BOD로 약 4.7배, SS로 약 38배로 증가하였다(Kown and Lim, 2012). 본 연구가 유량 변화에 따른 오염부하량이 작은 것을 알 수

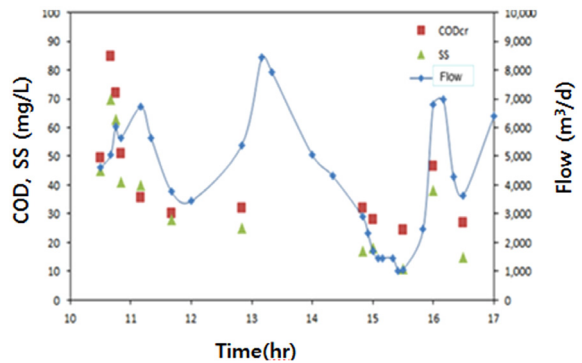


Fig. 12. Relationship of water quality and flow during the wet period.

Table 8. Results of overflow pollution load during the wet period

	BOD	CODcr	SS	TN	TP
Event mean concentration (mg/L)	16	41	33	1.58	0.13
Overflow pollution load (kg)	11	29	23	1.12	0.09
Overflow pollution load per rainfall (kg/mm)	0.9	2.4	2.0	0.93	0.008

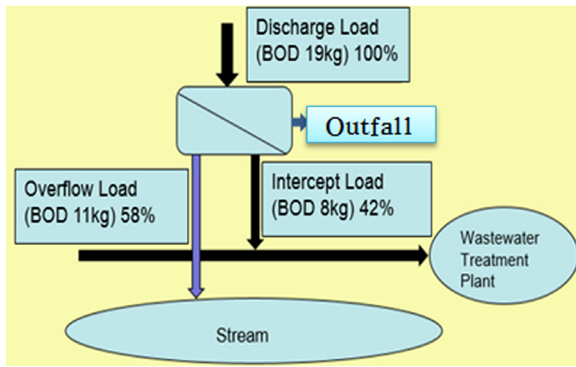


Fig. 13. CSOs control effect at sampling point.

있는데 계곡수량의 유입으로 희석되어진 것으로 판단된다.

Fig. 13은 강우시 월류시간 약 7시간 동안 월류오염부하량과 차집관로로 차집된 오염부하량을 나타낸 것이다. 오염부하 제거효과를 쉽게 이해하기 위하여 그림으로 도시한 것이다. 재월류하여 유량을 측정하지 못한 시기의 자료는 산정하지 못한 것이므로 오차는 약간 있을 것이다. 월류오염부하량은 BOD 11 kg, CODcr 29 kg, SS 23 kg, TN 1.12 kg, TP 0.09 kg 이었고, 차집관로로 차집된 오염부하량은 BOD 8 kg, CODcr 20 kg, SS 16 kg, TN 0.78 kg, TP 0.06 kg 으로 나타났다. 전체 유출되는 부하량 중 차집관로로 유입된 부하량을 제어효과로 보면 BOD 기준으로 42% 정도이고, 다른 수질항목도 월류부하량이나 차집부하량은 동일한 유량가중평균농도이며 유량에 의해 결정되므로 거의 동일한 제어효과를 갖는다.

유사한 대전천 상류지역인 석교부근에 우오수분리벽이 설치된 합류식 토구(유역면적 1.6 km²)에서 강우시 제어효과를 보면 BOD 기준으로 79%이었는데(Lim et al., 2007) 유역면적이 크고, 계곡수량이 많은 지역이므로 본 지역보다 제어효과 높은 편이다. 대전천의 지류도 대사천 부근의 우오수분리벽 설치지역(유역면적 1 km²)의 경우에도 BOD 제거효과를 보면 52% 정도로 나타났다(Lee et al., 2004).

4. Conclusion

강우시 시간최대오수량의 3배(3Q)이상을 월류시키고 그 월류량을 임의로 조정가능한 유입유량조절장치의 성능을 하수관로 토구지점인 현장에서 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 본 연구에 활용된 유입유량조절장치는 설치할 대상지점의 시간최대오수량을 예측하여 강우시 월류량을 기계적으로 조정하여 설치 가능하므로 기존 고정식 유량장치에 비해 현장 적용 수용성이 매우 높다.
- 2) 유입유량조절장치의 덮개판의 각도와 차집관로로 유입되는 개폐구의 간격 조건에 따른 유량과의 관계를 표준화하면 현장조건에 맞는 최적조건을 선정할 수 있다.
- 3) 3Q에 도달하는 유량을 확보할 수 있었던 조건은 유입유량조절장치의 덮개판 각도가 15도이며 간격이 6 cm이거나 덮개판 각도가 30도이며 간격이 6 cm인 두 조건이었

으나, 강우시 유입유량조절장치의 특성을 충분히 확보하기 위해서는 덮개판 각도가 15도이며 간격이 6 cm를 최적조건으로 선정하였다.

- 4) 유입유량조절장치가 요구되는 대상지역의 시간최대오수량을 예측하여 적정 월류량에 의해 조정된 유입유량조절장치가 설치된 지역에서 강우시 BOD 오염부하량 제어효과가 약 42% 정도로 나타났다.

References

American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation (APHA, AWWA, and WEF). (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21th Ed., Washington D.C.

Cho, M. J., Shin, E. B., Kim, Y. K., and Bae, W. K. (2011). The Characteristics of Pollutant Release by Sediment in Combined Sewer, *Journal of Korean Society on Environment*, 17(3), pp. 407-415. [Korean Literature]

Choi, B. C., Lim, B. S., and Lee, K. C. (2003). Effect of Separation for Valley Water using Sewage Separation Wall in Combined Sewer, *Proceedings of Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater Autumn Conference*, Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater, pp. 611-614. [Korean Literature]

Korean Water and Wastewater Works (KWWW). (2011). *Design of Sewerage Treatment Plant*, Korean Water and Wastewater Works. [Korean Literature]

Kwon, C. S. and Lim, B. S. (2012). Effect of Separation Walls on Reduction of Suspended Solids Loading in a Combined Sewer System, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 26(6), pp. 787-796. [Korean Literature]

Lee, K. C., Choi, B. C., and Lim, B. S. (2004). Pollutant Control using the Separation Wall between Stormwater and Sewage in a Combined Sewer System, *Korean Society of Water and Wastewater*, 18(4), pp. 461-469. [Korean Literature]

Lim, B. S., Kim, D. Y., and Lee, K. C. (2007). Comparison of Pollutant Control in Combined Sewer Overflows and Separated Sewer Overflows using the Separation Wall, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 23(4), pp. 458-466. [Korean Literature]

Ministry of Environment (MOE). (2011). *Development of CSOs Control Technology with FCHC Process*, Ministry of Environment. [Korean Literature]

Ministry of Environment (MOE). (2014). *Korean Standard Methods of Water Pollution*, Ministry of Environment. [Korean Literature]

Park, H. S. and Song, S. H. (2014). Evaluation of Sewage Treatment Plant Efficiency in the Variation of Sewage Inflow and Interface Height by Rainfall, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 36(8), pp. 549-553. [Korean Literature]

Shin, E. B. and Yoon, H. S. (1998). Pollutants Settling Characteristics of Combined Sewer Overflows in Urban Area, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 14(4), pp. 425-432. [Korean Literature]