



합류식 하수관거 월류수 오염 부하량 산정

이동주 · 문보라* · 이석모†

부경대학교(학생) · *부경대학교(조교) · †부경대학교(교수)

Estimation of Pollution Load from Combined Sewer Overflows

Dong Joo LEE · Bora MOON* · Suk Mo LEE†

Pukyong National University(student) · *Pukyong National University(administrative assistant) ·

†Pukyong National University(professor)

Abstract

This study has estimated the pollutant load from combined sewer overflows due to rain events by analyzing daily water quality and operation status of a sewage treatment plant. Because considerable amount of pollutant was overflowing into riverine and coastal ecosystem in short time frame, it was apparent that the combined sewer overflows are giving critical affect to ecosystems. To minimize the damage, policies supporting construction of separate sewer system which eliminates the overflow and enhances the efficiency of sewage treatment plants, should be promoted.

Key words : Combined sewer overflows, Pollution load, Suyeong sewer treatment plant, BOD, COD

I. 서론

우리나라 하수처리시스템은 아직까지 완전한 분류식 하수관망을 설치하지 못하고 있기 때문에 강우 시 합류식 하수관거 월류수로 인하여 하천이나 연안이 오염되고 있다. 따라서 강우시 합류식 하수관거 월류수의 오염 부하량을 산정하여 이의 영향을 정량적으로 평가하고 대책을 수립하여야 한다.

대부분의 도시하수종말처리장은 하천 양안에 차집관로를 설치하여 하수를 이송하기 때문에 강우 시에는 월류로 인하여 유입농도가 낮아질 수밖에 없으며, 이로 인한 F/M 비 감소로 처리효율이 나빠지며 월류된 오염 부하량은 하천과 연안으로 유입될 수밖에 없다.

세계적으로도 합류식 하수관거 월류수 문제는 1970년대 지적이 되어 US-EPA(1983) 프로그램을 통하여 지난 수 십년간 연구되어 왔다 (Butler and Davies, 2000).

그동안 강우 시 하수관거 월류 오염 부하량은 실측(Lau et al., 2002; Lee et al., 2003; Brzezinska et al., 2016)과 강우유출모델을 통하여 추정하였으나(Lee et al., 2004; Park, 2016) 모든 강우를 고려할 수 없고 강우 시에도 강우 시기와 기간 그리고 강우량에 따라 농도나 양이 달라지기 때문에 정확한 오염 부하량의 산정이 어려웠다. 그러나 대부분의 하수처리장에서는 유입수 농도, 유량 등을 실시간 측정하기 때문에 이를 이용하여 월류 오염 부하량을 산정하는 것이 훨씬 신뢰성을 가질 수 있으며 현실성이 있다.

† Corresponding author : 051-629-6541, leesm@pknu.ac.kr

※ 이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2017년)에 의해 연구되었음.

본 연구에서는 강우 시의 하수처리장 유입 부하량을 조사하고 무 강우시의 유입 부하량을 추정하여 그 차이를 구한 다음 강우 시 하수관거 월류수 오염 부하량을 산정하였다. 이러한 연구 결과는 하천 수질관리와 연안 오염총량관리에 적용할 수 있을 뿐만 아니라 차후 분류식 관망이 완공되었을 경우 하수처리 계획 수립과 분류식 하수관망의 오접이나 누출에 대한 판단 기준으로도 활용될 것이다.

<Table 1> Sewer pipe supply rate of Suyeong and Haeundae sewage treatment plants area in 2015

Sewage Treatment Plants Area	Planned amount(km)	Established amount(km)	Supply rater(%)
Suyeong	671.150	252.421	37.61
Haeundae	100.049	60.823	60.79

II. 연구 방법

1. 연구 방법

가. 대상 하수

합류식 하수관거 월류수의 오염 부하량을 산정하기 위하여 2016년 부산시 하수처리장별 수질 및 운영 현황(Busan Environmental Corporation, 2017)의 자료를 활용하였다. 부산시 수영 및 해운대 하수처리장의 오수관로 보급률은 Table 1과 같고(Busan Metropolitan City, 2016), 수질 및 처리 효율은 <Table 2>와 같다.

수영 하수처리장의 오수관로 보급률은 37.61%이었으며 2016년 평균 유입 수질은 BOD 131.6mg/L, COD 73.9mg/L이었고 방류 수질은 각각 4.9mg/L, 8.4mg/L로 COD 89%에 비하여 BOD 96%의 제거 효율이 높음을 알 수 있다. 한편 비교적 많은 60.79%의 분류식 하수관망이 설치된 해운대 처리장의 경우 유입 BOD는 평균

242.7mg/L이었으며 방류수질은 1.8mg/L로 99%의 제거 효율을 나타내고 있다. 이는 수영 하수처리장의 경우 차집관거에 생활하수 이외의 자연수가 유입되고 있음을 보여 주며 처리 효율도 해운대 처리장에 비하여 낮음을 나타낸다.

나. 조사 대상 항목

강우 시 하수관거 월류수 오염부하량을 조사하기 위하여 강수량, 유량, 유입농도(BOD, COD), 유입부하량, 유출농도 및 방류량을 조사하였다. 자료는 부산광역시 하수처리장 별 수질 및 운영 현황 자료(Busan Environmental Corporation, 2017)를 이용하였다.

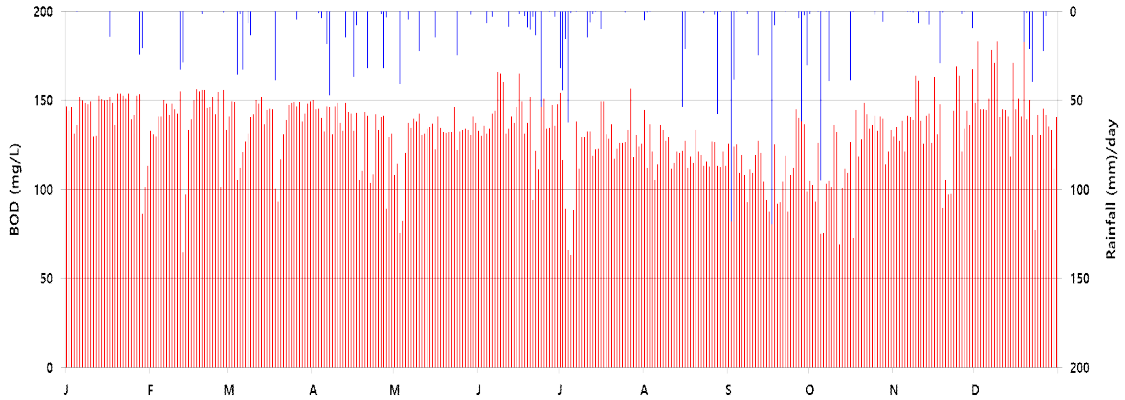
다. 월류 부하량 산정 방법

월류 부하량은 무 강우시 평균적인 유입부하량과 본래의 유입부하량의 차이를 이용하여 산정하였다. 무 강우 시 유입부하량은 BOD의 일별 수질 현황을 이용하여 강우로 인하여 유입농도에 영향을 받는 일자의 부하량을 제외하고 월평균 부하량을 산정한 후 영향을 받는 날짜의 부하량을 월평균 일일 부하량으로 대체하여 추정하였다.

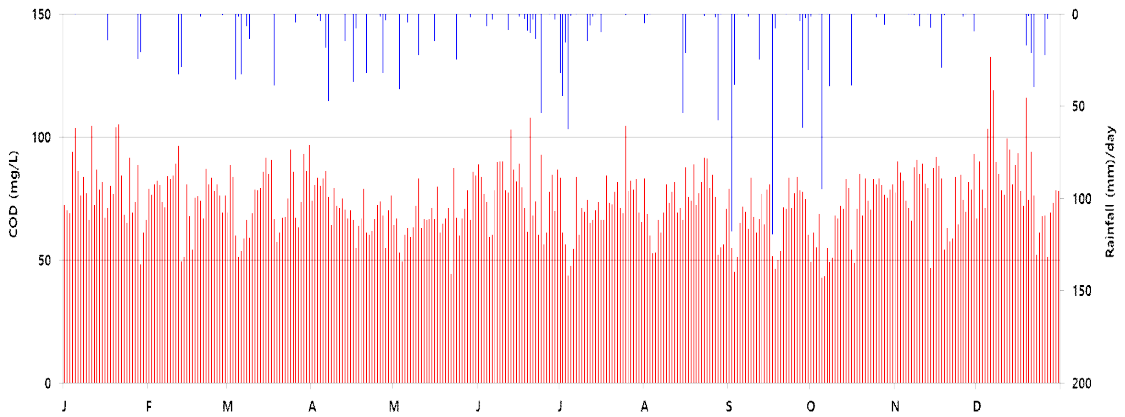
III. 결과 및 고찰

1. 강우 시 오염물질 농도 및 부하량

2016년 수영 하수처리장의 일별 강우량 및 BOD와 COD의 유입농도는 [Fig. 1, 2]와 같다. BOD의 경우 강우와 밀접한 관계가 있으며 강우 후에 농도가 낮아지는 경향이 확실히 나타나고 있다. 최고농도는 강우량이 비교적 적은 동계인 12월 19일 187.8mg/L이었으며 최저 농도는 강우량이 비교적 많은 하계인 7월 5일 63.3mg/L이었다. 이러한 결과는 수영 하수처리장 유입수는 강우에 의하여 희석되어 월류함을 입증하고 있다. COD의 경우도 BOD와 유사하게 동계에는 높고 하계에는 낮은 결과를 보이고 있어 강우에 의하여 희석되어 월류함을 알 수 있다.



[Fig. 1] Daily BOD concentration of inflows to Suyeong sewage treatment plant and daily rainfall in 2016.



[Fig. 2] Daily COD concentration of inflows to Suyeong sewage treatment plant and daily rainfall in 2016.

2016년 수영 하수처리장의 일별 강수량 및 유입량은 [Fig. 3]과 같다. 하수처리장의 유입량은 강우 초기에는 증가하다가 점차 감소하는 패턴을 가지고 있다.

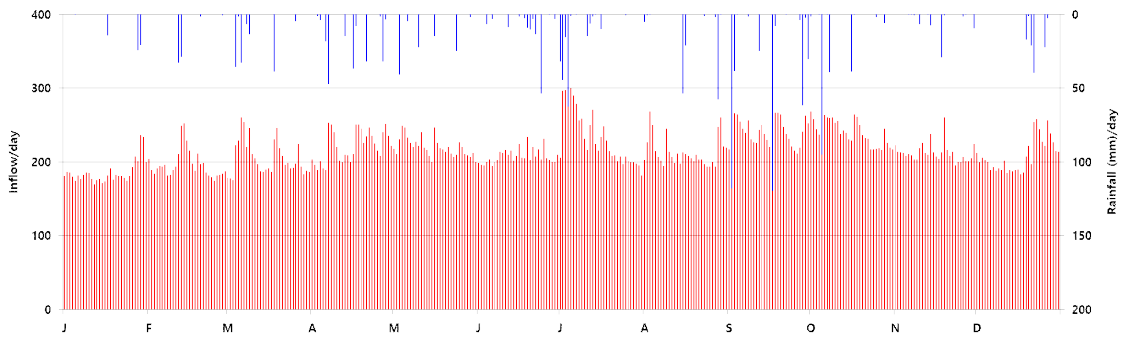
[Fig. 1, 2]의 유입 농도와 [Fig. 3]의 유입량을 이용하여 산정한 2016년 수영 하수처리장의 BOD와 COD의 유입부하량은 [Fig. 4, 5]와 같다. BOD 부하의 경우 강우 시 유입량이 증가하더라도 농도가 감소하기 때문에 부하량은 감소하는 경향을 보이고 있어 차집관로의 월류 현상을 나타내고 있다. COD의 경우도 크기의 차이는 있으나 유사한 경향을 보이고 있다.

[Fig. 1]의 강수량과 유입 BOD 농도를 이용하여 강우 후에 강우 전보다 농도가 낮아지는 강우 영향 일자를 도출한 결과는 <Table 2>와 같다. 9월이 영향 일수가 26일로 가장 많았고 1월과 8월이 5일로 가장 적었다.

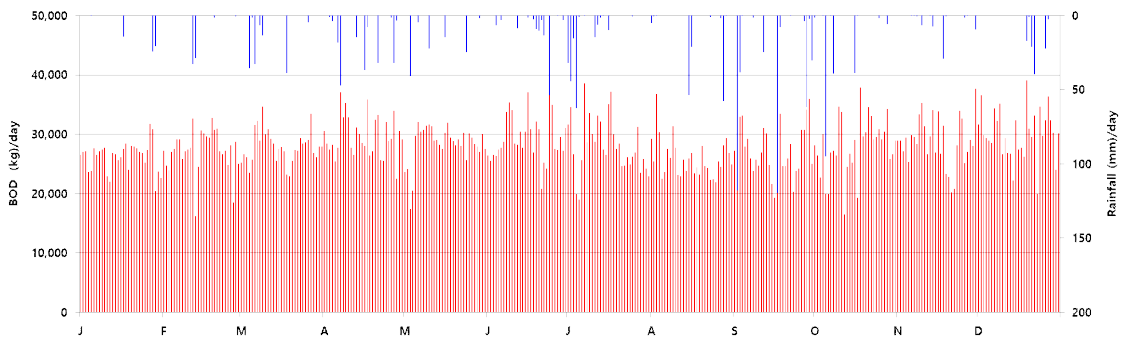
<Table 3>의 강우 영향일자를 제외한 나머지 날짜의 부하량을 월별로 평균한 BOD, COD의 일일 유입부하량은 <Table 4>와 같다. 이를 반영한 무 강우시 BOD와 COD의 산정 부하량은 [Fig. 6, 7]과 같다. 강우 기간 평균 처리된 부하량을 반영하였기 때문에 강우의 영향이 상쇄되어 있음을 알 수 있다.

<Table 2> Input, discharge quality, and treatment efficiency of Suyeong and Haeundae sewage treatment plants in 2016

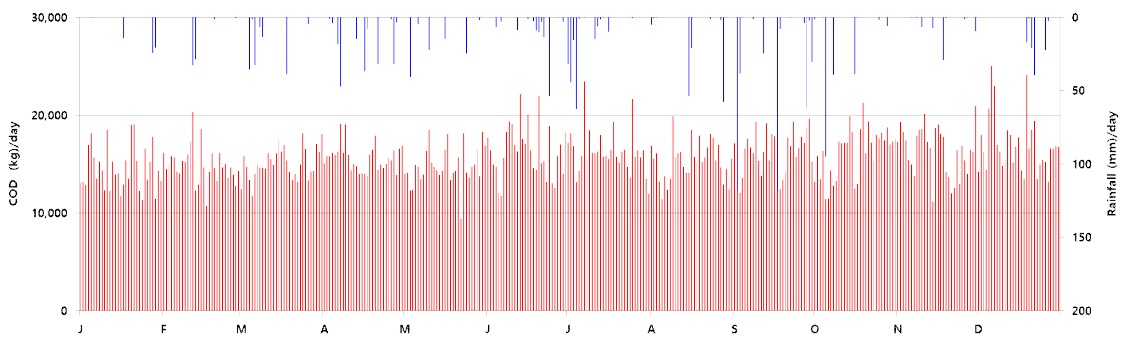
Sewage Treatment Plants	Input quality(mg/L)		Discharge Quality(mg/L)		Treatment Efficiency(%)	
	BOD	COD	BOD	COD	BOD	COD
Suyeong	131.6	73.9	4.9	8.4	96.0	89.0
Haeundae	242.7	146.1	1.8	8.0	99.0	95.0



[Fig. 3] Daily inflow and rainfall of Suyeong sewage treatment plant in 2016.



[Fig. 4] BOD pollutant load of Suyeong sewage treatment plant in 2016.



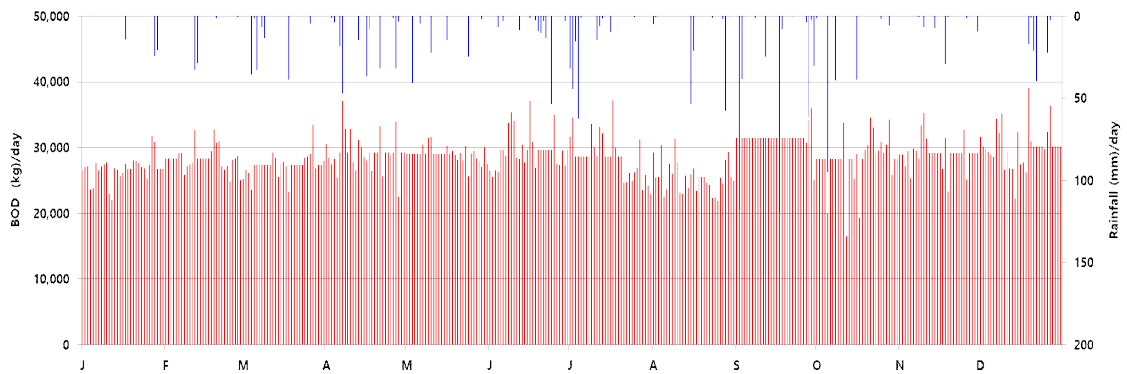
[Fig. 5] COD pollutant load of Suyeong sewage treatment plant in 2016.

<Table 3> Dates of inflow BOD affected by rain events

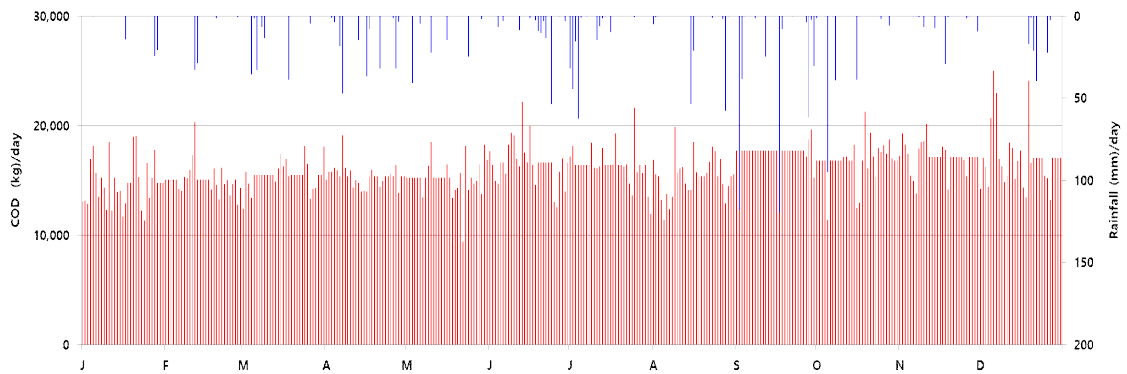
Month	Dates	Days
Jan.	18, 19, 29~31	5
Feb.	1~5, 13~17, 27	11
Mar.	5~11, 19~23, 29, 30	14
Apr.	6, 9, 17, 20, 23, 24, 26, 29, 30	9
May.	1~6, 8, 11~15, 17, 25	14
Jun.	5, 6, 15, 19, 20~24, 30	10
Jul.	3~8, 14~16, 19, 20	11
Aug.	3, 18~20, 30	5
Sep.	1~26	26
Oct.	1~4, 6~10, 13, 14, 18, 30, 31	15
Nov.	12~16, 20~24, 27~30	14
Dec.	2, 21~24, 28~31	9

<Table 4> Monthly total inflow, rainfall, and estimated average daily pollutant load for each month without rain events

Month	Inflow (103m ³)	Rainfall (mm)	Pollutant load (kg/day)	
			BOD	COD
Jan.	5,767	59.5	26,755	14,773
Feb.	5,712	63.7	28,386	15,110
Mar.	6,378	133.5	27,357	15,503
Apr.	6,656	198.5	29,295	15,375
May.	6,831	108.8	29,045	15,241
Jun.	6,242	115.2	29,670	16,636
Jul.	7,229	188.3	28,637	16,436
Aug.	6,627	141.5	25,542	15,389
Sep.	7,260	407.7	31,502	17,739
Oct.	7,480	182.4	28,288	16,821
Nov.	6,377	56.6	29,193	17,133
Dec.	6,470	103.8	30,212	17,073



[Fig. 6] Estimated BOD pollutant load without rain events of Suyeong sewage treatment plant in 2016.



[Fig. 7] Estimated COD pollutant load without rain events of Suyeong sewage treatment plant in 2016.

2. 월류 부하량 산정

2016년 수영 하수처리장의 월별 실제 부하량과 무 강우시를 가정한 산정 부하량은 <Table 5>와 같다. 실제 부하량은 유입 농도와 유입량을 곱하여 월별 합계한 것이고 산정 부하량은 강우 영향 일을 배제하고 월별 평균한 부하량을 계산한 것이다. 실제 유입 BOD 부하량은 12월에 935.6 Ton/month로 가장 많았고 2월에 791.1 Ton/month로 가장 적었다. 산정 부하량의 경우는 12월에 936.6 Ton/month로 가장 많은 것은 동일하나 8월에 791.8 Ton/month로 가장 적었다. COD의 경우는 실제와 산정 부하량 모두 12월에 가장 많고 2월에 가장 적었다. 이러한 결과는 계절에 따라 유입되는 물질의 성상이 변하기 때문에 나타나는 차이로 판단된다. 2016년 수영 하수처리장의 연간 실제 유입부하량은 BOD 10,288.2 Ton/y, COD 5,765.4 Ton/y이었으며 무 강우를 가정하여 산정된 연간 유입부하량은 BOD 10,483.9 Ton/y, COD 5,893.1 Ton/y로 계산되었다.

강우 시 월류 부하량은 무강우 추정 부하량에서 실제 부하량을 빼고 난 값으로 월별로 보면

강우량이 많은 9월에 BOD, COD 모두의 월류량이 가장 많았으며 BOD의 경우 일일 강우량이 50mm 내외이고 강우 간의 간격이 비교적 긴 3, 4, 8월, COD의 경우 4월에 유입량 증가로 유입부하량이 평균보다도 높았다. 2016년 수영 하수처리장의 경우 월류부하량은 BOD 195.7 Ton/y, COD 127.7 Ton/y로 산정되었다. 이러한 양은 수영 하수처리장의 2016년 총방류량 131,556,007 m³/y와 평균 방류수질 BOD 4.9mg/L, COD 8.4mg/L를 적용한 실제 방류량과 비교할 때 BOD의 경우 30.36%, COD의 경우 11.57%에 해당한다. BOD와 COD의 차이는 수영 하수처리장이 생물학적 공법으로 가동되기 때문에 BOD의 처리효율이 COD에 비하여 높기 때문이다. 또한, 이러한 월류 부하량은 <Table 5>의 강우 시 9월 129.4 Ton/month와 같이 집중적으로 발생되기 때문에 하천과 연안에 일시적인 충격 부하를 줄 수 있으며 수서 생물에게도 막대한 영향을 초래할 수 있다. 따라서 이제는 하수처리장 건설보다는 분류식 하수관망을 비롯한 다기능 하수처리시설 및 강우 시 오염 부하량 저감 계획 등을 통하여 하천오염과 연안오염을 방지해야 한다.

<Table 5> Measured, estimated, and overflow pollutant load of Suyeong sewage treatment plant in 2016

Month	BOD Load (Ton/month)			COD Load (Ton/month)		
	Measured	Estimated	Overflow	Measured	Estimated	Overflow
Jan.	815.0	829.4	14.4	452.1	458.0	5.9
Feb.	791.1	823.2	32.1	432.2	438.2	6.0
Mar.	865.7	848.1	-17.6	467.3	480.6	13.3
Apr.	891.0	878.8	-12.2	469.6	461.2	-8.4
May.	879.4	900.4	21.0	459.5	472.5	13.0
Jun.	880.5	890.1	9.6	490.7	499.1	8.4
Jul.	876.4	887.7	11.3	506.0	509.5	3.5
Aug.	803.4	791.8	-11.6	477.1	477.1	0
Sep.	815.7	945.1	129.4	487.3	532.2	44.9
Oct.	868.1	876.9	8.8	504.5	521.5	17.0
Nov.	866.3	875.8	9.5	492.3	514.0	21.7
Dec.	935.6	936.6	1.0	526.8	529.2	2.4
Total	10,288.2	10,483.9	195.7	5,765.4	5,893.1	127.7

<Table 6> Estimated annual overflow pollutant load of Suyeong sewage treatment plant in 2016

Pollutant	BOD	COD
Estimated Load (Ton/y)	10,483.9	5,893.1
Measured Load (Ton/y)	10,288.2	5,765.4
Overflow Load (Ton/y)	195.7	127.7
Measured Discharge (Ton/y)	644.6	1,105.1
Overflow / Discharge (%)	30.4	11.6

IV. 결론

수영 하수처리장의 유입수의 수질과 유량을 분석하여 무강우 시의 오염부하량을 추정하여 강우 시 월류 부하량을 산정하였다. 유입수 수질의 경우 강우에 의하여 희석되는 현상을 확인할 수 있었으며 이는 강우 시 월류 부하가 발생함을 입증한다. 강우 영향에 의하여 유입농도가 감소되는 일자를 제외하고 나머지 일자의 부하량을 월별로 평균하여 무강우 시 오염부하량을 추정하여 월류 부하량을 산정한 결과 2016년 수영 하수처리장의 실제 방류량에 비하여 BOD는 30.36%, COD는 11.56%를 차지하였다. 이러한 양이 강우 시 일시적으로 하천과 연안에 유입되기 때문에 환경과 생물에 큰 영향을 미칠 것이 예상된다. 강우 시 하수관거 월류수의 오염부하를 줄이기 위하여 분류식 하수관거의 조기 건설과 다기능 하수저류시설 및 강우 시 오염부하량 저감 계획 등이 필요하며 이것이 하천과 연안의 오염을 관리할 수 있는 근본적인 연안오염총량관리 방안이 될 수 있다.

References

Brzezinska A, Zawilski M and Sakson G(2016). Assessment of pollutant load emission from combined sewer overflows based on the online

monitoring. *Environ Monit. Assess*, 188~502.
<https://dx.doi.org/10.1007%2Fs10661-016-5461-6>
 Burtler D and Davies JW(2000). *Urban Drainages*, E&FN SPON, London, 489.
 Busan Environmental Corporation(2017). Operational status of environmental information in 2016, Available from: <http://www.beco.or.kr>.
 Busan Metropolitan City(2016). Summary Report of The Sewer Maintenance Master Plan(modification) in Busan Metropolitan City, p.1~7.
 Lau J, Butler D and Schutze M(2002). Is combined sewer overflow spill frequency/volume a good indicator of receiving water quality impact? *Urban Water* 4, 181~189.
[https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(02\)00013-4](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(02)00013-4)
 Lee DJ, Shin EB, Yoon HS, Sun SW and Kwak SD(2003). Preliminary Investigations on the Developing CSOs Abatement Goals; Comparison of CSOs and Storm Sewer Discharge Loads, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* 25(11), 1420~1428.
 Lee DJ, Yoon HS, Sun SW, Kwak SD and Lee DH(2004). Optimal Sizing of CSOs Storage Tank by Stormwater Simulation Modeling(II), *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* 26(3), 370~380.
 Park CK(2006). The sewage system policy for restoration of urban stream in Busan, *Busan Environmental Technology Center*, 95~186.
 Suarez J and Puertas J(2005). Determination of COD, BOD and suspended solids loads during combined sewer overflow(CSO) events in some combined catchments in Spain. *Ecological Engineering* 24, 201~210.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2004.11.005>
 US-EPA(1983). Results of the Nationwide Urban Runoff Program, vol. 1. Final Report, NTIS PB48-185552, Water Planning Division, Washington, DC.

- Received : 29 January, 2019
- Revised : 28 February, 2019
- Accepted : 26 March, 2019