



Vortex separator와 연속식 섬유사여과를 이용한 CSOs 처리연구

A Study on Treatment of CSOs by Vortex Separator and Continuous Fiber-Filter System

이범준 · 나지훈 · 김진성 · 주재영 · 배윤선 · 정인호 · 박철휘*

Lee Bum-joon · Na ji-hoon · Kim Jin-sung · Joo Jae-young · Bae Yoon-sun · Jung In-ho · Park Chul-hwi*

서울시립대학교 환경공학부

(2010년 1월 18일 접수 ; 2010년 8월 12일 수정 ; 2010년 8월 13일 채택)

Abstract

This study was conducted to confirm the CSOs characteristics, and to estimate treatment efficiency of CSO treatment process. Flowrate was average 53,500m³/d, maximum 58,100m³/d during dry season, but after rain-fall, the flowrate was increased more than twice that of the dry season. And, water pollution concentrations, such as COD_{Cr}, SS, BOD₅, TN and TP of after rain-fall, were also increased. Thus, for more efficient treatment of pollutants during rainy season, The vortex separator and continuous fiber filter devices were used. From the results on particle range, removal efficiency of particle was 99.7% at the particle size range of 40~100 μ m but decreased as 55~80% at the below 40 μ m. The removal efficiencies of COD_{Cr}, SS, TN and TP were approx. 70, 60, 70 and 50, respectively during the dry season and approx. 50, 50, 8 and 18% during the rainy season. Also, when compared with the primary sediment basin, COD_{Cr}, SS, TN and TP removal efficiencies were high. especially, at the case of TN and TP, TN was more removed than TP because of higher conversion factor value. But we needed more study for the injection of a coagulants to get more stable treatment efficiency for soluble pollutants. Consequently, This process can be used for CSOs treatment as well as replace the primary sedimentation basin during the dry season.

Key words : Combined Sewer Overflows, CSOs, Nonpoint-source, Vortex separator

주제어 : 와류형 분리장치, 비점오염원, 월류수

1. 서론

2007년 말 기준으로 국내 하수관거 보급률은 73.6%이며 이중 51.6%는 합류식이며, 48.4%는 분류식으로 되어 있어, 강우시 합류식 하수관 월류수에 의한 하천오염이 크게 우려되고 있는 실정이다(환경부, 2007). 강우시 합류식 차집관거의 용량을 초과한 양은 월류되어 하천으로 배출되

는 것을 CSOs라고 하며 도시지역의 경우에는 상당량의 강우유출수가 하수관거를 통해 배수되기 때문에 비점오염부하 중 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 이러한 오염물질들은 강우유출수와 함께 공공수역으로 단시간에 많은 양이 유출되어 하천오염을 가중시키고 있다(방기웅, 2001).

이러한 CSOs가 하천이나 호수로 유입되면 안정적인 수질을 유지할 수 없을 뿐만 아니라 더 나가서는 하천생태계

* Corresponding author Tel:+82-2-2210-2176, E-mail: chpark@uos.ac.kr(Park, C.)

파괴의 원인이 되기 때문에 합류식하수관거 월류수 및 초기 우수 등과 같은 비점오염원에 대한 처리방안이 절실히 요구되고 있으나, CSOs 및 초기우수의 유출특성 및 처리시설에 대한 연구와 기초 자료가 부족한 실정이다. 국내의 경우에는 오염가능성이 큰 공단지역에서 초기강우를 일시적으로 저류하는 형태로 처리하고 있을 뿐 거의 처리되지 않고 방류되고 있는 실정이다. 저류형태를 이용한 처리 방법은 고형물 및 유기물의 분리는 일어나나 오일 및 콜로이드 입자 등과 같은 유해한 물질의 처리에는 한계가 있으며, 긴 처리 시간과 넓은 부지소요 등의 단점을 지니고 있다. 일반적인 CSOs 처리방안은 발생원제어, 차집용량의 확대, 하수관내 유량제어, 분류식하수관거의 사용, 저류시설의 설치, 실시간 제어방법, 스웰조절조, 화학적 살균 등이 있으며(Field et. al., 1996), 이 중에서 Heinking 등(1985)은 효과적인 처리의 방법으로 소유역별 말단 지점에 우수 체류지를 설치하고 와류형 분리장치로 이용하여 처리하는 것을 제안하였다.

와류형 분리장치는 선회류를 이용하여 고형물들을 월류수로부터 분리, 제거하는 장치로서 대기오염물질 집진장치인 cyclone과 매질판 상이할 뿐 같은 원리이다. 이러한 와류형 분리장치는 부유성 및 침전성 오염물질의 동시제거가 가능하고 손실수두가 적어 별도의 외부동력원이 필요하지 않고 기존의 CSOs 처리설비에 비해 설치면적이 작으며 처리 속도가 매우 빠르고 기존의 관거 및 신설 관거에 연결이 쉽다는 점 등의 장점을 가지고 있다(US EPA, 1999; Andoh et. al., 2002).

본 연구에서는 하수처리장으로 유입되는 CSOs의 유입성을 분석하고, CSOs의 초기세척현상에 의한 오염물질의 유입을 Vortex separator와 연속식 섬유사 여과기를 이용하여 초기우수 및 CSOs처리 가능성을 알아보려고 하였다.

또한 건기 및 우기시 실험을 통해 우리나라의 하상계수가 큰 것으로 고려하여 건기 및 우기시 실험을 통해 1차침전지 대체성 평가를 실시하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 조사 대상지역

실험장치는 서울시 소재의 J물재생센터의 내에 설치하여 운영하였으며, J물재생센터는 서울시 10개구, 집수면적 106km², 최대처리용량 170만m³/day이며, 총 하수도관거연장은 3,355km으로 이중 합류식 하수관거가 3,132km로 약 93%를 차지하고 있으며 활성 슬러지 공법을 이용하여 하수를 처리하고 있다(J물재생센터 운영현황, 2005).

2.2. 실험장치

Fig. 1은 본 실험에 사용된 공정의 개략도로 공정은 저류조, 와류형 처리장치, 하부배출수조, 연속식여과장치로 구성되어 있다. 대상 원수는 침사지 유출수를 이용하였으며 저류조에 저장한 후 실험에 사용하였다. 유입수 저류조에는 입자성 물질들을 부유상태로 유지하기 위하여 교반기를 이용하여 완전혼합상태가 유지되도록 교반해 주었으며, Vortex separator의 유입 유량은 유량계를 이용하여 측정하면서 밸브로 제어하였다.

유입수는 Vortex separator의 유입구를 통하여 접선방향으로 유입되어 외부 원통의 벽면을 따라 회전하면서 발생하는 선회류에 의하여 수중의 입자성 물질은 중앙의 cone과 벤칭사이에 침전하여 분리되며, 침전된 입자성 물질들은 하부의 배출관을 통하여 배출되게 된다(Michael et. al., 2004).

일반적인 와류분리기의 처리효율은 CSOs의 특성이나 장

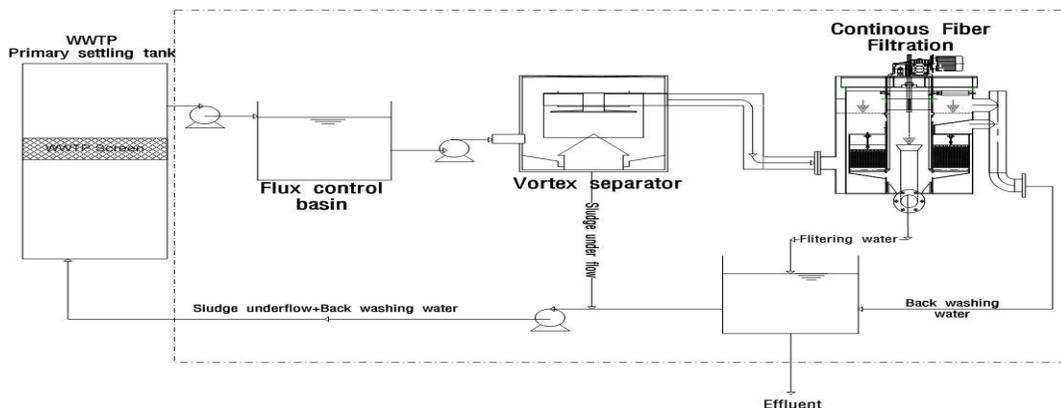


Fig. 1. Schematic flow diagram for CSO treatment

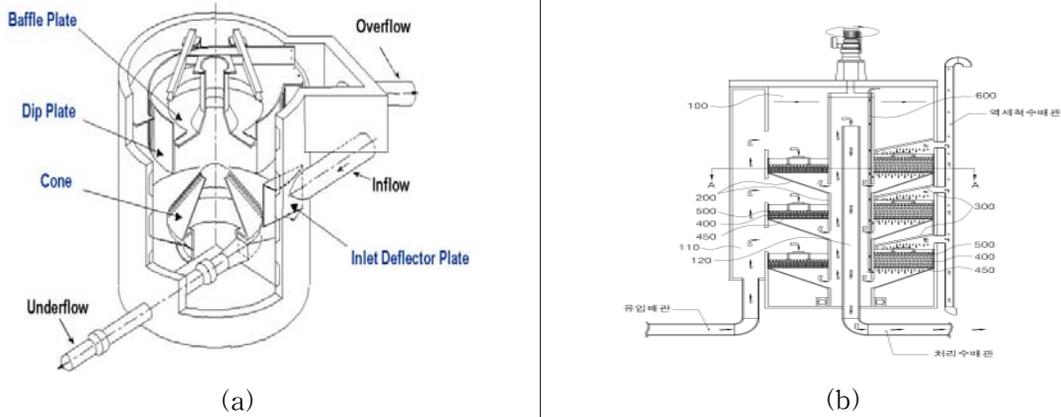


Fig. 2. Schematic diagram of equipments

Table. 1. Design parameters of Vortex separator and Continuous Fiber-filter System [unit : mm]

Parameter	Vortex separator	Fiber filter
Inlet	φ 40	φ 50
Outlet	φ 60	φ 60
Underflow	φ 20	φ 20
Hight	500	1200
Diameter	φ 800	φ 800

치의 구성형태, 크기, 수리학적 부하, 처리대상물질, 방류수계의 수질오염기준에 따라 차이가 있을 수 있지만 TSS의 제거효율은 약 40~50%정도이다(Geiger, 1998). 따라서 안정적인 수질을 확보하기 위하여 외류형 분리장치의 유출수를 섬유사 여과장치로 최종 처리하여 CSOs의 효과적인 처리 대안을 제시하고자 하였다. 기존의 필터 여재를 이용한 여과장치는 정지된 상태에서 여재를 역세척하기 때문에 장치의 운영에 있어서 비가동시간(down time)이 존재하기 때문에 유량과 농도의 변화가 큰 경우에는 월류수의 처리속도 및 처리량이 감소한다는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에 사용된 여과장치는 독립적으로 9개의 여실이 구성되어 있어서 하나의 여실에서 역세가 이루어지는 동안 나머지 8개의 여실에서는 여과가 일어나게 되어 연속적인 운전이 가능하도록 하였다.

Table. 1은 Vortex separator와 여과장치의 설계인자를 나타내었으며, Vortex separator의 유입유량, 유출유량 및 하부배출량을 각각 5.6m³/hr, 4.4m³/hr, 1.2m³/hr로 고정한 후 실험을 진행하였다. 여과기의 역세는 총 5분으로 설정하였으며, 세 단계로 구성되어 있다. 각 단계를 살펴보

면, 공기와 여과수를 동시에 이용하여 2분 동안 역세한 후에 여과수를 이용하여 여실을 2분 동안 세척하고 부하를 줄이기 위하여 1분간의 휴지기로 구성하였다. 실험에 사용된 여재는 작은 구형의 섬유사 여재로 밀도 16kg/m³, 직경은 3cm이며, 외부에서 작용하는 압력에 따라서 여재사이의 공극과 압축률이 달라지는 장점을 가지고 있다.

2.3. 연구방법

대상지역의 수질을 분석하기 위하여 건기시 5회와 우기시 4회에 걸쳐 시료를 채취하였으며, 채취된 시료는 4℃이하로 보관하여 24시간 이내에 실험실로 운반하여 분석하였다. 우수는 선행건기일수 4일 이상, 강우량 10mm이상일 경우를 대상으로 하였으며, 30분 간격으로 채수하였다.

또한, Vortex separator와 연속식 섬유사 여과장치의 처리효율을 평가하기 위하여 대상원수를 200 l의 저장 탱크에 저류한 후 정량펌프를 이용하여 공정에 주입하였다. 또한 본 연구에 사용된 월류수 처리장치는 국내 유효강우일수가 50일 내외인 기상학적 특이성을 고려하여 1차침전지 대체가능성 평가를 위하여 입경범위를 1~100μm에 중점을 두어 분석하였다.

분석항목은 COD_{Cr}, BOD, TP, TN, TSS, VSS, 입경분석, 중금속, 탁도 등을 분석하였으며, COD_{Cr}, BOD, TP, TN, TSS, VSS는 공정시험법과 Standard Methods에 준하여 분석하였고 입경분석은 입자분석기(SBSS-C, Pamas)를 이용하였다. 중금속은 ICP(ICPE-9000, Shimadzu)를 이용하였고, 탁도는 Portable Turbidimeter (2100P, Hach)를 사용하여 분석하였다.

60,000m³/d로 증가하였으며, 18시부터 감소하여 익일 01시경에는 약 20,000m³/d로 급격히 감소하였다. 이러한 유입하수량의 변화는 하수처리구역 내에 상업 및 공업지역이 포함되어 있는 지역적 특성에 기인한 유동인구에 의한 것으로 판단된다. 반면, 우기 시에는 강우 시작 후 약 2시간 후부터 유량이 급격하게 증가하여 건기 시의 동일시간대의 유량보다 약 2배 이상을 보여 초기강우에 의한 초기세척현상이 발생할 것으로 판단하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 원수성상분석

3.1.1 건기 및 우기시 유량변화 비교

Fig. 3은 건기시 5회의 평균유량과 우기시 2회의 강우량과 유량평균을 나타내었다. 건기시에는 평균적으로 유입 하수유입량은 36,400m³/d이며 첨두유량은 약 13시경에 약

3.3.2 건기 및 우기시 수질농도 분포

Fig. 4와 Fig. 5는 건기 및 우기시의 수질변화를 나타낸 것으로 Fig. 4(a)는 건기시 SS와 COD_{Cr}, BOD의 시간별 농도변화를 나타내었으며, 12시부터 13시, 16시부터 17시, 익일 1시부터 3시 사이에 높게 나타났다. Fig. 4(b)는 TN과 TP는 물소비가 많은 약 13시에 최고 농도를 보인

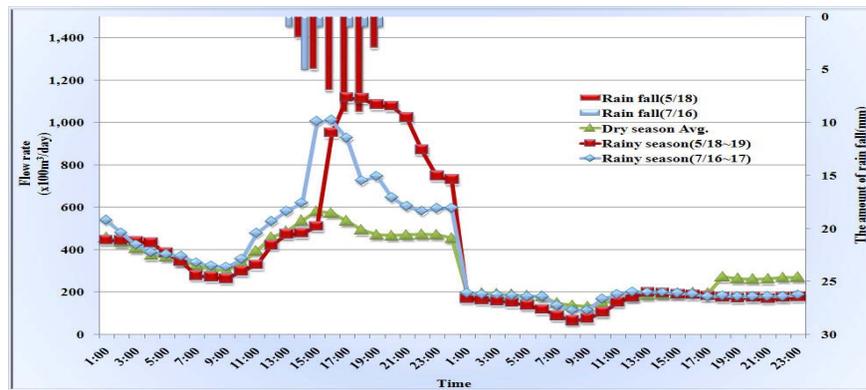
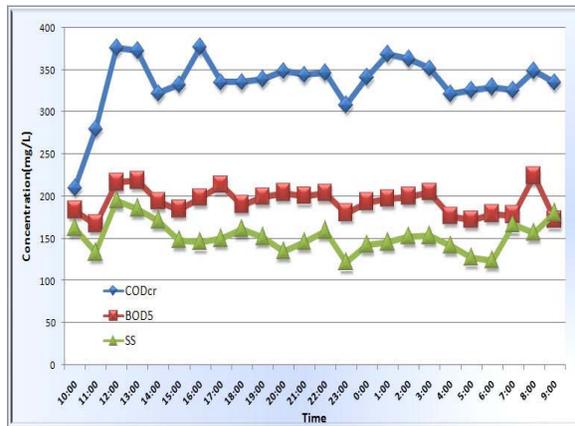
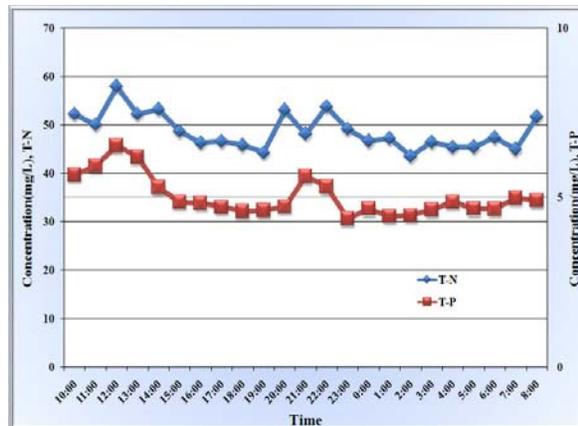


Fig. 3. Variation of flow-rate by time at dry and rainy season



(a)



(b)

Fig. 4. Variation of SS, COD, BOD, T-N, T-P at dry season

후 감소하는 경향을 보였다. 유입수 중의 COD_{Cr}, BOD₅, SS, TN, TP의 평균농도는 334, 193, 152, 49, 5mg/L로 각각 나타났다. Fig. 4는 우수의 수질분석 결과를 나타낸 것으로, 2008년 5월 18일 14:00부터 내린 강우를 이용하였다. 누가강우량 36mm, 선행건기일수 4일 이상으로 시료를 30분 간격으로 8시간 동안 채수한 결과에 나타내었다. Fig. 5(a)에서와 같이 COD_{Cr}, BOD₅, SS의 평균농도는 379.8, 193.6, 367.6mg/L로 각각 나타났으며 강우시작 후 약 3시간 후에 농도가 급격히 증가한 후 일정시간 경과 후에 다시 감소하였다. 이는 초기세척 효과에 기인한 것으로 강우 시에 도로노면 및 합류식 하수관거 내 퇴적물들이 처리장으로 유입된 것으로 판단된다. Fig. 5(b)는 TN과 TP의 평균농도는 각각 32.9, 4.4mg/L였으며, TN은 초기에 증가와 감소를 반복하고 일정시간이 경과한 후에 서서히 감소하지만 인은 크게 변화하지 않았다.

강우시에 COD_{Cr}, BOD₅, SS, TN, TP의 최대농도는 각각 528, 242, 690, 38.9, 5.3mg/L였고 건기시의 평균농도에 비하여 각각 약 1.4, 1.1, 5.7, 0.7, 0.8배로 나타났다. 특히, SS의 경우에는 건기시보다 약 5.7배로 높게 나타나 도로노면 등의 다량의 입자성 물질이 강우와 함께 하수처리장으로 유입됨을 확인하였다.

3.2 입경별 처리효율 평가

건기시의 입자분포는 5~3,000 μ m 범위의 입자가 분포하고 있으며, 주로 20~50 μ m, 80~1000 μ m, 750~1500 μ m의 크기가 주로 존재하였다. 우기시의 경우에는 180 μ m이상의 입자가 상당량 존재하였으며, 이는 초기우수에 의해서 도로

노면의 퇴적물과 함께 입경이 큰 물질들이 하수처리장으로 유입되기 때문으로 판단된다. 한정균 등(2008)은 실험실 규모의 Vortex separator에 glass bead를 이용하여 입경별 처리효율을 평가한 결과, 유입유량에 따라서 Vortex separator의 처리효율에 차이가 있지만 유입유량 75L/min에서 75~2000 μ m의 입경에서 약 70%이상이 처리되었다.

본 연구에서는 약 40~100 μ m의 입경에서의 처리효율은 평균 99.7%였으며, 이 입경범위 이하에서의 처리효율은 55~80%의 효율을 보였다. 그러나 본 공정에서는 Vortex separator에서 미처리된 입자들은 후단의 여과장치에서 제거됨으로써 최종 유출수의 입경범위는 약 1~8 μ m를 보였으며 최종적인 처리효율이 약 99%이상으로 나타났지만 1차침전지의 대응으로 처리공정을 적용하기 위해서는 여과장치에서 여재의 종류에 따른 처리효율 증가효과에 대한 평가가 더 필요할 것으로 사료된다.

3.3 장치별 수질농도 변화

Vortex separator와 섬유사 여과장치의 효율을 평가하기 위하여 우기시의 원수를 이용하여 실험을 진행하였다. 장치의 운전은 강우가 시작된 후 초기세척현상이 예상되는 2시간 후부터 시작하였다. 여과장치에서 중요한 인자가 되는 여재로는 구형의 섬유사 여재를 사용하였다. 섬유사 여과장치에 구형의 섬유사 여재를 여실에 약 80%충진 후 여실의 40% 이내로 압축하여 공극을 최소화하였으며, 역세척 시에는 압축을 풀고 공기와 여과수에 의해 세척이 원활히 이루어지도록 하였다. 공정에서의 장치별 처리 효율은 Fig. 6에 나타내었다.

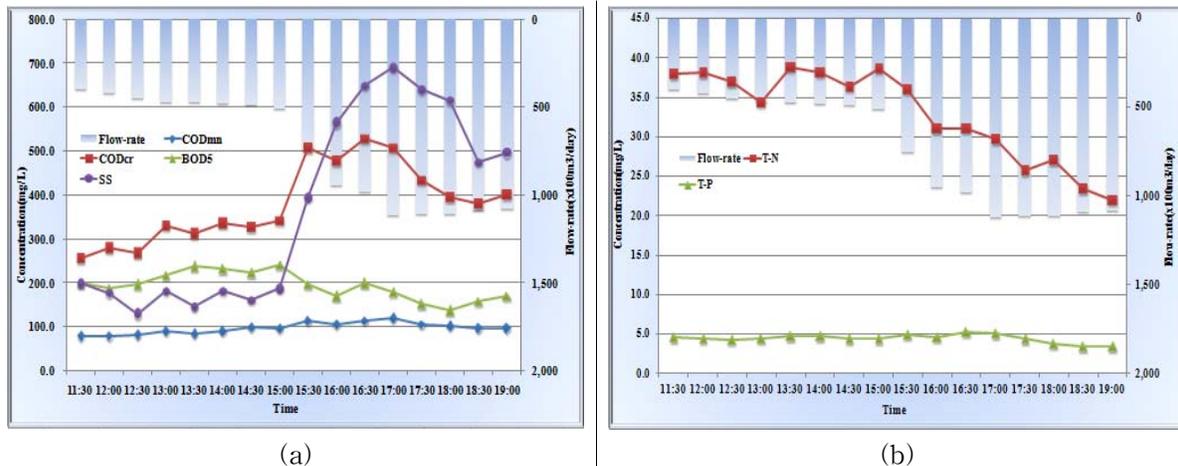


Fig. 5. Variation of SS, COD_{Cr}, BOD₅, T-N, T-P at rainy season

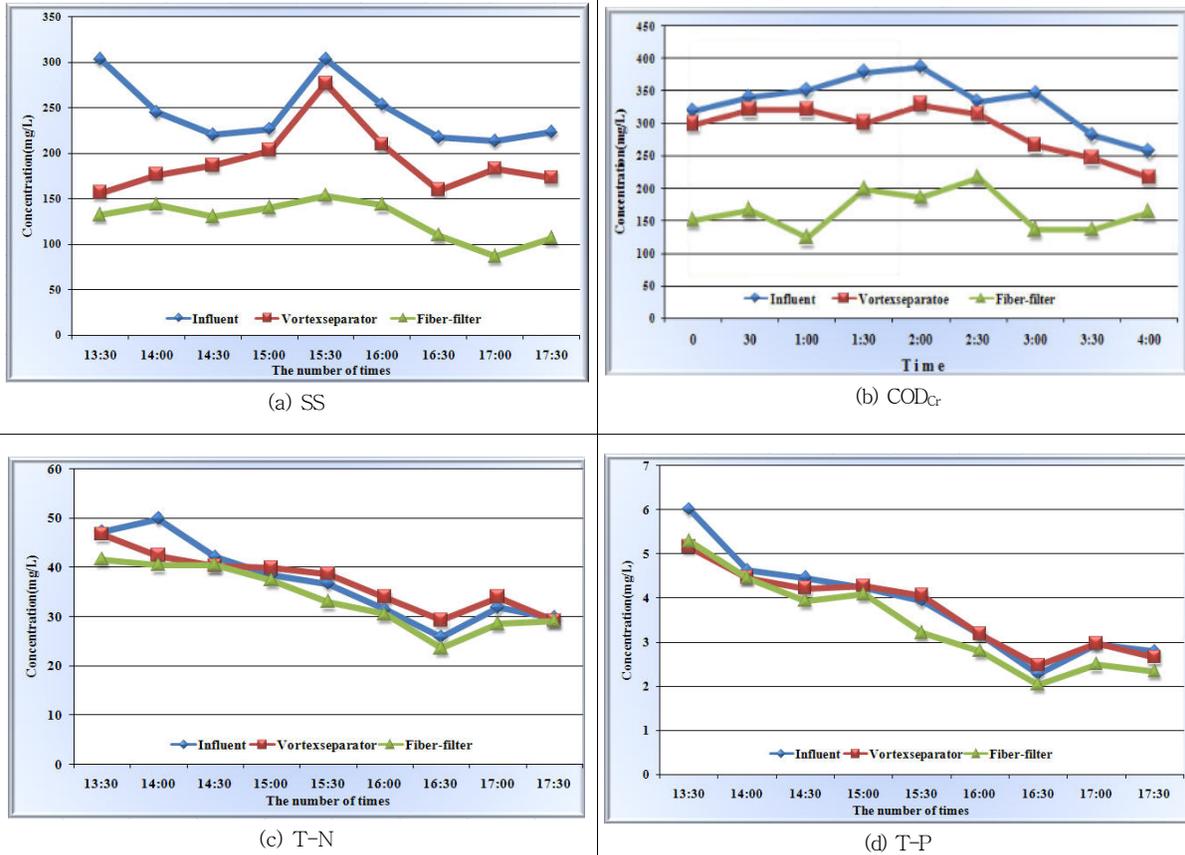


Fig. 6. Changes in the concentration of CSOs treatment devices

유기물과 고형물의 농도변화를 살펴보면 COD_{Cr}은 약 280~390mg/L이 유입되어 vortex separator에서 약 215~315mg/L의 저감효과를 나타내었고 최종적으로 여과 후 농도는 150~200mg/L의 농도로 약 50%의 저감효과를 나타내었다. 이는 vortex separator와 섬유사 여과장치가 물리적인 처리장치로 입자성 성분만을 와류와 여과만으로 제거하기 때문에 용존성 유기물질은 제거가 어려웠던 것으로 판단되어진다. SS의 경우에는 210~305mg/L로 유입되어 Vortex separator를 통과한 후의 SS농도는 160~280mg/L로 나타났으며, 최종유출수의 SS농도는 87~153mg/L로 COD_{Cr}과 유사한 제거효율을 보였다. 또한 방류수역에 직접적인 영향을 주는 TN과 TP의 처리효율이 낮게 나타났으며 이는 본 연구에 사용된 공정이 물리적 처리로만 구성되어 있기 때문에 일정량의 입자성 N과 P만의 제거가 가능하며 월류수에 포함된 용존성 N과 P의 경우에는 제거되지 않았기 때문으로 판단되며, 보다 향상된

제거효율을 얻기 위해서는 추가적으로 화학적 응집제의 투입에 의한 처리효율의 변화와 관련된 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다. Fig. 7은 Vortex separator의 처리효율을 나타내었다.

3.4. 건기시 처리장내 월류수 처리장치와 1차침전지 비교평가

국내의 경우에는 대부분의 경우가 여름철에 집중되어 있으며, 유효강우일수가 약 50일 내외로 나타나고 있다. 이러한 불규칙적이고 한 계절에 집중되는 경우를 대상으로 본 처리공정을 적용하기에는 유지관리 및 운영상에 어려움이 있기 때문에 입자제거가 주목적인 하수처리장 내의 침사지와 1차침전지의 비경제적인 부분을 대체가 가능할 것으로 판단되었다. 따라서 Vortex separator와 섬유사 여과장치를 하수처리장내의 1차침전지와 비교평가를 하였다.

Fig. 8은 1차침전지와 CSOs처리장치의 유기물과 SS의

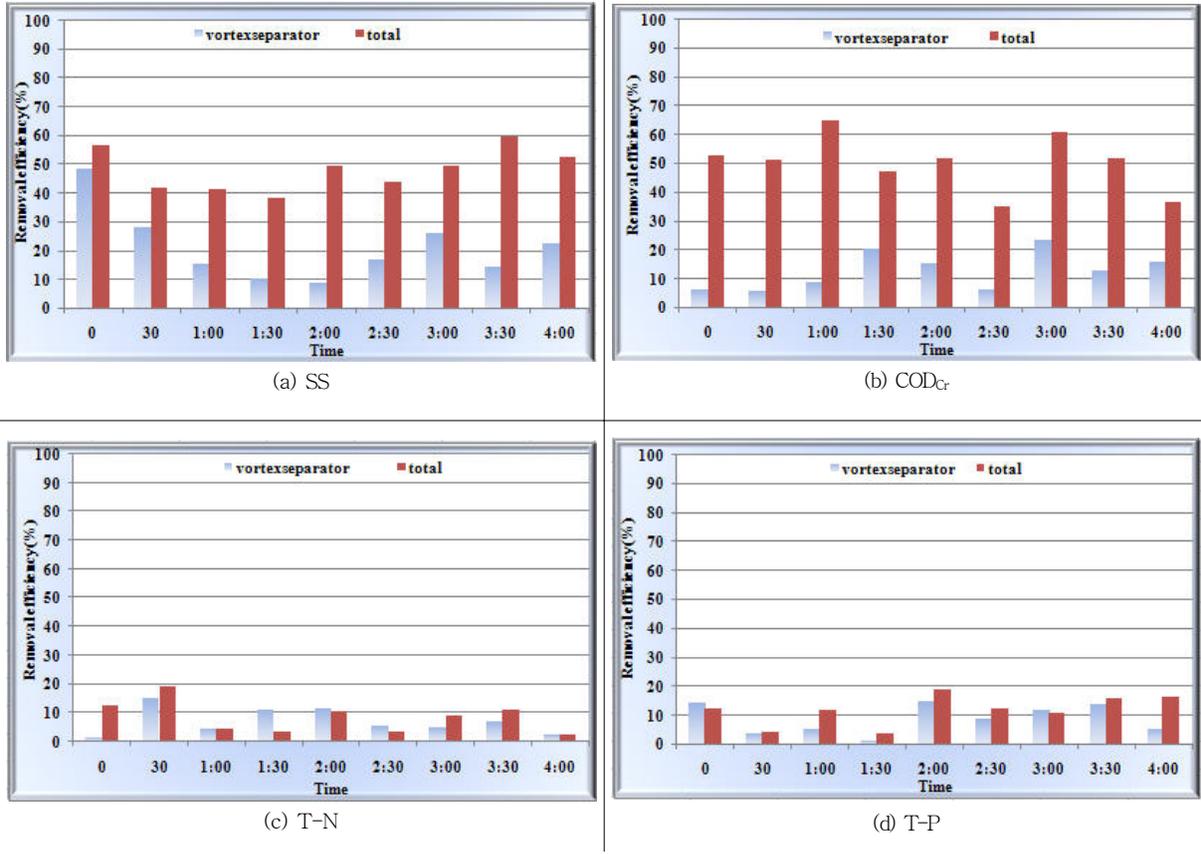


Fig. 7. Changes in the removal efficiency of CSOs treatment devices

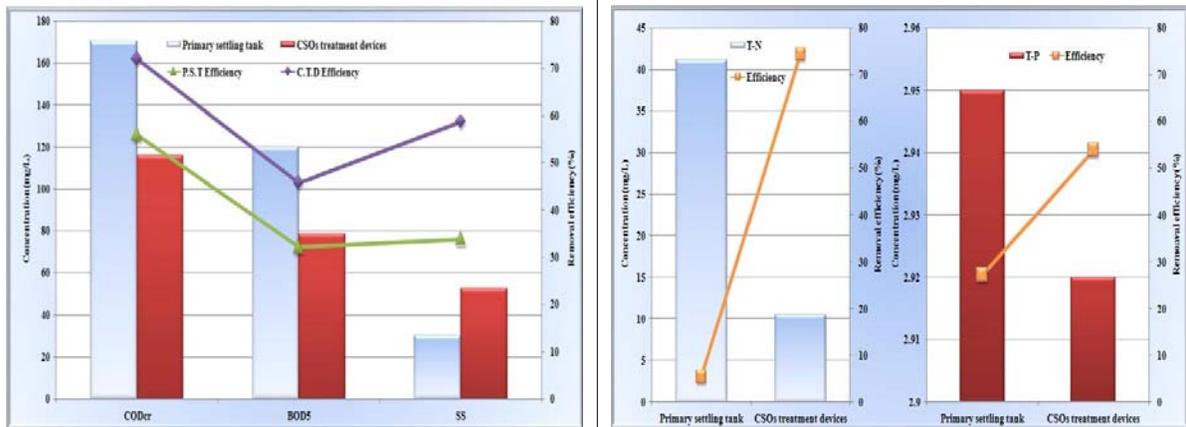
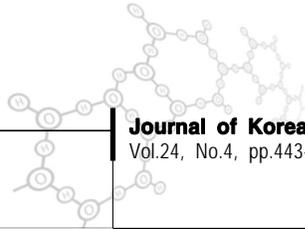


Fig. 8. Comparison primary settling tank and CSOs treatment devices <COD_{Cr}, BOD₅, SS, T-N, T-P concentration>



유출수 농도와 효율을 비교하였다. COD_{Cr}, SS의 처리효율을 비교한 결과 CSOs 처리장치가 약 15%이상 높게 나타났으며, TN의 경우에도 1차침전지와 CSOs처리장치의 유출수 농도는 40mg/L, 11mg/L로 CSOs 처리장치의 효율이 높게 나타났지만 TP의 경우에는 제거효율은 높지만 제거농도는 1차침전지와 CSOs처리장치가 유사하였다. 이는 입자성 물질만을 제거할 수 있는 공정의 특성상 CSOs의 처리장치가 우수한 COD_{Cr} 제거효율에 의해 SS의 제거효율이 보다 높은 것으로 판단되며 TN과 TP의 경우에는 TN이 TP보다 높은 제거효율을 보였다. 이는 비록 결과에 나타내지 않았지만 대상지역 내에 존재하는 다수의 자동차 관련업소 등에서 사용된 인화합물 등이 입자성물질에 흡착된 상태로 유입되었기 때문에 처리장치에서의 TP제거효율이 TN의 제거효율보다 높은 것으로 판단된다. 따라서 CSOs 처리시설의 효율이 높아 1차침전지를 대체가 가능할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 특정지역을 대상으로 합류식 하수관거 월류수에 포함되어 있는 오염물 성상을 분석하여 CSOs 유출특성 및 Vortex separator와 섬유사 여과를 이용한 CSOs의 처리효율을 비교하였다. 또한 하수처리장 내의 1차침전지와 비교를 통하여 건기시에 CSOs의 처리장치의 대체이용 가능성을 연구하였다.

- 건기 및 우기시 수질변화는 평균값을 기준으로 COD_{Cr}, BOD₅, TN, TP 농도의 차이는 없었으나 SS의 경우 건기에 비해 우기시 약 5.7배 증가하였다. 이는 토사나 모래 등의 입자성 물질이 유입으로 처리장내 반응조 및 장치의 유지관리 및 운전이 어려울 수 있어 초기세척 현상에 대한 적절한 대책이 필요할 것으로 판단된다.

- Vortex separator와 연속식 여과장치를 이용한 CSOs 처리장치의 입경별 효율분석 결과 역세주기는 총 5분으로 공기와 여과수로 여재 세척 2분, 여실세척 2분, 휴지 1분으로 운전하였다. Vortex separator에서 처리되지 못하고 부유한 입자들이 후단의 여과장치에서 처리되어 최종 유출수의 입경범위는 1~8 μ m를 나타내었다.

- 우기시 본 공정에서의 COD_{Cr}, SS, TN, TP의 제거효율은 각각 약 50%, 50%, 8%, 18%로 나타났다. 오염물질의 제거효율은 Vortex separator가 섬유사 여과장치보다 효율이 낮지만 섬유사 여과장치를 단독으로 운전할 경우에

고형물에 의한 섬유사 여재의 빠른 폐색에 따라 처리효율도 빠르게 저하된다. 때문에 안정적인 CSO의 처리를 위해서는 높은 고형물 제거를 위해 Vortex separator의 내부 cone의 각도 조절 등과 같은 추가 실험이 필요할 것으로 판단된다.

- CSOs 처리장치의 1차침전지 대체가능성을 검토한 연구에서는 유기물, SS, TN, TP의 처리효율이 우기시 운전 조건으로 운전한 CSOs처리장치에서 효율이 높게 나타났다. 하지만, 우기시의 운전조건에서는 외류에서 충분한 제거효과와 여재의 빠른 폐색으로 인한 여재 교체주기가 단축되었다. 그러므로 1차침전지를 대체하기 위해서는 CSOs처리장치가 건기시에 효율적으로 운전될 수 있는 유량 및 시간에 대한 조절이 필요하다. 그리고 외류로 인해 제거되지 못한 하수는 점성이 있는 물질들을 포함하고 있어 여재를 빠르게 폐색 시키는 문제점을 안고 있으므로 공극이 작고 역세척이 효율적인 여재의 선정도 필요 할 것으로 사료된다.

- 방류수역에 영향을 미칠 수 있는 질소와 인의 제거효율은 높지 않았다. SS가 제거됨에 따라 질소와 인도 함께 제거될 것이라 기대하였지만 CSOs에 포함되어 있는 SS의 대부분이 무기물이며 질소와 인이 대부분 용존성으로 존재하기 때문으로 판단된다. 따라서 응집제와 같은 수처리제의 주입을 통한 질소와 인의 제어와 관련된 추가연구가 필요할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 환경부 차세대 핵심환경기술개발사업으로부터 지원받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

윤현식, 이두진, 박영숙., 2006, 입경분포분석을 통한 합류식 하수관거 월류수(CSO) 오염물질 침강성 예측, 상하수도 학회지 20(2), pp. 295~302

방기웅, 이준호., 2001, swirl 농축분리기를 이용한 합류식 하수관 월류수 처리, 대한환경공학회지, 23(1), pp. 21~30

한정균, 주재영, 이범준, 나지훈, 박철휘., 2009, 합류식 하수관거 월류수 처리를 위한 외류형 분리장치의 최적 운전조건, 상하수도학회지, 23(5), pp.557~564

방기웅, 이준호, 유명진., 1997, 도시소유역에서의 비점오염원 유출특성에 관한 연구, 한국수질보전학회지, 13(1), pp. 79~99

- 환경부, 2007년 하수도 통계
중량물재생센터, 2007년 운영 보고서
社団法人, 1982, 日本下水道協會, 合流式下水道越流水對第と 暫定指針
安齊 史郎, 1990, スクール分水槽 による合流式下水道の汚染負荷の削減 - スクール分水槽機能調査から -, 用水と 廢水, 32(11), pp. 30~40
Moffa. P. E., 1990, Control and treatment of combined sewer overflows, Van Nostrand Reinhold. N.Y.
Andoh R. Y. G, Saul, A. J., 2002, The use of hydrodynamic separators and screening systems to improve water quality, Sewer Processes and Networks. Paris. France, pp. 219-229
Brombach H., Xanthopoulos, C., Hahn H. H., Pisano, W. C., 1993, Experience with separators for combined sewer overflow control, Water Environment & Technology 27(5), pp. 93-104
Chebbo, G. and bachoc, A., 1992, Characterization of suspended solids in urban wet weather discharges, Wat. Sci.Tech., vol. 25(8), pp. 171~179
EPA, 1999, Storm Water Technology Fact Sheet Hydrodynamic Separator, U.S. E.P.A pp. 832-F~99~017
Geiger. W. F., 1998, Combined sewer overflow treatment ; Knowledge or speculation, Wat, Sci. Tech., Vol. 38, No. 38, pp. 1~8
Heinking. G. and Wilcoxon. N.. 1985, Use of a swirl concentrator for combined sewer overflow management." J. WPCF. 57(5), pp. 398~402
H.I.L, 1991, Technology Inc, Storm King
Field R. and O'Connor T. P., 1996. "Swirl technology : enhancement of design, evaluation, and application," Journal of Environmental Engineering, ASCE. 122(EE8), pp. 741-748
Michael G. and Mark D. and Christopher A., 2004, Wastewater treatment using hydrodynamic vortex separators, CIWEM 2nd National Conference, Wakefield, UK, 13-15 September pp. 79-87