

CSOs의 오염물질 제거시 DAF-system의 적용에 관한 연구

The Study of DAF-System to Apply the CSOs Treatment

이태관*

Lee, Tae-Gwan*

계명대학교 환경과학과

(2004년 4월 15일 접수, 2004년 5월 29일 최종수정논문 채택)

Abstract

This paper examines the applicability of DAF-system to the domestic sewers for the effective CSOs treatment. The procedures for the experiment include mainly two steps. One is to analyse the water qualities and settling test of the CSOs and the other focuses on general characteristics of the CSOs such as the removal efficiency of pollutant, the distribution of particle size and mass balance of DAF-system.

The result of this study show that the application of DAF-system is more effective and economical than the existing treatment systems because it has two removal mechanisms of sedimentation and flotation simultaneously.

Key words: DAF, CSOs, Mass balance, SS removal

주제어: 용존 공기 부상법, 합류식 하수관거 유출수, 물질수지, 부유물질 제거

1. 서론

합류식 하수관거 유출수(CSOs; Combined Sewer Overflows)는 강우시 합류식 하수관거의 우수토실에서 차집 되지 않는 설계치 이상의 하수를 의미하는 것으로써 건기시 지상에 쌓여있던 오염물질이나, 관거 내부에 퇴적되어 있던 침전물질들이 빨라진 유속에 의한 양력과 난류 등의 영향으로 재부상 되어 유출되기 때문에 높은 오염 부하를 가지게 되어 수계에 유입시 수계를 오염시키는 주요원인이 된다(이, 2003; 신 등, 1998; 이 등, 1996). 현재 국내·외적으

로 강우후 수계의 물고기 집단폐사나 녹조발생 등 CSOs 중의 오염물질 유입에 의한 수질오염 사고가 자주 보고 되고있다. 특히, 우리나라의 경우 중랑천과 한강 지류인 신탄천에서의 물고기 집단폐사를 비롯하여 한강 하구와 낙동강 하구에서의 녹조발생 등 CSOs 중의 오염물질에 의한 사고가 자주 발생하고 있어 이에 대한 대책이 시급한 실정이다(이 등, 2001).

CSOs는 그 속에 포함된 여러 가지 오염물질 중 입자성 오염물질(Particle matters)이 가장 큰 비율을 차지하고 있기 때문에 CSOs의 처리는 대부분 이러한

*Corresponding author Tel.: +82-53-580-5459, Fax: +82-53-580-5908, E-mail: tgsy@kmu.ac.kr (Lee, T.G.)

하여 CSOs의 적정 처리를 위한 DAF-system의 적용 가능성을 검토하였다.

2. 연구방법

강우초기에 발생하는 CSOs의 처리시 DAF-system의 적용 가능성을 평가하기 위한 실험의 대략적인 공정도를 Fig. 1에 나타내었다. 본 연구에서는 강우 초기를 기준으로 96시간 동안 경산시 K 하수처리장으로 유입되는 원수를 분석하여 강우시 발생하는 CSOs의 수질특성을 파악하였다. 그리고, 침강 실험에 의한 CSOs의 침강특성을 파악하였고, CSOs에 DAF-system을 적용하여 CSOs 수질변화의 상관관계를 파악하였으며, DAF-system 적용시 90% 이상의 SS 제거효율을 나타내는 운전조건에서 150 μ m 이하 입자에 대한 입자 분포 특성을 측정하였다. 또한, 원수, 슬러지, 처리수, 부상분리조의 스크럼 중의 SS 농도에 대한 Mass balance를 확인함으로써 CSOs의 처리시 DAF-system의 적용시 부상에 의한 오염물질 제거 기여도에 대하여 검토하였다.

2.1. CSOs의 수질 특성파악

본 연구에서는, 경산시 K하수처리장으로 유입되는 유입수를 대상으로 CSOs의 수질특성을 파악하였다. 경산시 하수처리장은 합류식 하수관거로 하수가 차집되어 유입되는데, 강우시 CSOs가 우수토실로부터 유입되는 것으로 조사되어 CSOs의 유입 대상 지점으로

입자성 오염물질의 침강특성을 이용한 침전 및 응집 공정이 적용되고 있다(신 등, 1998). 우리나라의 경우 하수도시설기준에서 합류식 차집관거 용량은 청천시 시간 최대 오수량의 3배(3Q)를 적용하지만, 대부분의 하수처리장에서는 Q만을 처리하고, 2Q는 침전 처리 후 월류시켜 방류하고 있다. 하지만, 침전 처리시 오염물질의 처리효율이 낮기 때문에 오염물질이 제대로 처리가 안된 채 방류되어 녹조발생, 물고기 집단 폐사 등의 수계오염사고가 빈번히 발생하고 있는 실정이나, 이에 대한 법적 혹은 제도적 장치가 마련되어 있지 않아 이에 대한 대책의 마련이 시급한 실정이다(이, 2003; 한 등, 2000).

따라서, 본 연구에서는 유입되는 CSOs의 수질특성을 파악하고, 침강실험을 통한 CSOs의 침강특성, 자체 개발한 DAF-system에 의한 오염물질의 제거특성 및 입도 분포의 변화, Mass balance 등을 비교·분석

Table 1. Analytical Methods and its Instruments

Parameter	Analytical Methods and Instruments
CODCr	K ₂ Cr ₂ O ₇ Closed Reflux Method Hot Block Baths: Model TB-620 Spectrophotometer: SPECTRONIC 20D+(MILTON ROY)
SS	Gravimetric Method Glass Fiber Filter: Gelman Science Drying Oven: Precision Incubator Vacuum Pump: Model No 0523-V4-G80DX Furnace: NEY 2-525 SERIESE II
TN	Ammonium-Persulfate Digestion and
TP	Vanadomolybdophosphoric Acid Colorimetric Method Vacuum Pump: Model No 0523-V4-G80DX

선정하였다. CSOs의 수질분석은 강우초기를 기준으로 2시간 간격으로 96시간동안 연속으로 측정하였다. 측정 항목은 CODCr, SS, TN, TP이고, 분석방법은 Standard Methods를 기준으로 시행하였으며, 연구에 사용된 분석방법 및 사용기기는 Table 1에 나타난 바와 같다.

2.2. CSOs의 침강실험

침전칼럼시험은 크게 HS(homogeneous suspension)와 FL(floating layer)방법으로 구분된다(김 등, 1998; 배, 1998; Metcalf & Eddy, 1991). HS방법은 측정 시작 시점에서 칼럼 전체에 균일한 농도를 유지한 후 침전을 유도하는 방법이고, FL방법은 시료중의 고형물이 균일하게 분포된 층을 형성시킨 다음 침전부의 액중으로 고형물을 침전시키는 방법이다(Aiguier et al., 1996; Tyak et al., 1996). 본 연구에서는 HS방식을 사용하여 분석하였다.

침전 시험용 칼럼은 직경이 100mm이고, 높이는 1,900mm인 아크릴 원통으로 시료 채취구는 상부에서 500mm 간격으로 세 지점을 두었다. 초기 수위는 1번 시료 채취구에서 300mm 위쪽으로 정하여 침전 칼럼시험을 수행하였고, 하수 유입수를 칼럼에 주입한 다음 유입수를 균질화 시키고 초기 SS 농도를 측

정하였으며, 1분, 3분, 6분, 8분, 10분, 13분, 16분, 20분 후에 각각의 시료 채취구에서 시료 50mL를 취하여 SS 농도를 측정함으로써 평가하였다.

2.3. DAF-system에 의한 CSOs의 수질, 입도 분포의 변화 및 Mass balance 평가

2.3.1. DAF-system의 구성 및 특성

본 연구에서 사용된 DAF-system은 침전과 부상이라는 하나의 반응기에서 동시에 이루어지도록 제작하였다. 스크임 및 슬러지의 배출을 용이하게 하기 위하여 고갈 모양의 콘을 상·하부에 부착하였고, 침전부에서 부상부로 수류가 이동하는 부분에는 와류 및 밀도류를 방지하기 위하여 정류판을 설치하였다. 원수의 부상은 system의 내부에 있는 column에서 EDUR-pump를 통하여 유입된 압축수와 원수를 혼합시키고, 이때 발생하는 공기방울을 이용하여 침전부에서 침전되지 않은 SS성분들을 부상분리시켰다.

2.3.2. DAF-system의 적용에 의한 CSOs의 수질변화 및 입도 분포의 변화

DAF-system의 유입유량을 밸브를 이용하여 고정시킨 후 DAF-system내에 원수가 가득 차서 스크임 유출부 및 처리수 유출부에서 물이 흘러나오기 시작하면 EDUR-pump를 작동시켜 압축수를 DAF-system내로 유입시켰다. 체류시간은 8분, 10분, 15분 및 20분으로 변화하여 운전하였고, 각 체류시간에 대하여 반송율과 스크임제거율을 변화하여 SS를 90% 이상 제거할 수 있는 운전조건을 도출하였다. 수질 분석을 위한 시료의 채취는 기기의 작동 시점으로부터 약 1시간

후부터 30분 간격으로 원수 유입부, 스킴, 슬러지 및 처리수를 배출구에서 채수하여 CODCr, SS, TN, TP 항목을 분석하고, SS 제거효율에 대한 각 수질인자 사이의 상관관계를 도출하였다. 그리고, 일반적으로 침전에 의하여 제거되지 않는 150mm 이하의 입경을 가지는 입자의 분포를 조사함으로써 DAF-system에 의한 입자성 오염물질의 제거 특성을 파악하였다.

2.3.3. DAF-system의 Mass balance 평가

DAF-system의 적용시 침전과 부상에 의한 SS 제거효율의 평가는 본 연구의 목적인 SS 90% 이상 제거가 달성되는 조건의 자료를 이용하여 평가하였다. 원수 유입부와 스킴, 처리수 및 슬러지 유출부의 SS 농도와 유량 비율을 이용하여 SS 부하량을 산정하고, 유입 원수의 SS 부하량을 기준으로 스킴, 처리수 및 슬러지내에 포함되어있는 SS 부하량 비율을 산정함으로써 침전과 부상 공정에 SS 제거효율을 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 4는 경산시 K하수처리장으로 유입되는 합류식 하수관거 유출수 즉, CSOs의 수질 변화특성을 나타낸 것이다. 강우시 하수처리장으로 유입되는 유입수는 강우 초기에 급격한 수질 변화를 나타내었고, 차츰 그 농도가 원상태로 회복되는 현상이 잘 반영되어 일반적으로 알려진 CSOs의 특성과 유사한 경향이 나타났다. 유입되는 SS 농도는 14~812mg/L로 평균 228mg/L로 측정되었고, CODCr, TBOD, TN 및 TP는 각각 35~449mg/L, 28~219mg/L, 23~93mg/L 및 0~7mg/L로 측정되었으며, 평균농도는 105mg/L, 61mg/L, 45mg/L 및 2mg/L로 측정되었다. 특히, CSOs의 SS 변화곡선과 TN, TP, CODCr의 변화가 거의 유사한 경향을 나타내고 있었는데, 이는 CSOs의 SS 물질 중 TN, TP, CODCr 유발물질이 다량 함유되어 있음을 나타낸다.

312mg/L의 SS 농도를 가지는 CSOs 대하여 시행한 침전관 분석 결과는 Fig. 5에 나타내었다. 침전관 분석 결과, 침전 처리에 소요되는 총 시간은 약 15~20분으로 조사되었고, 이 때의 평균 SS 제거효율은 약 60%로 나타났다. 따라서 DAF-system의 적용시 전

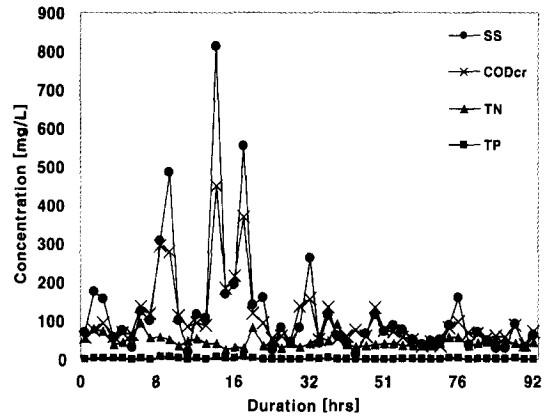


Fig. 4. Characteristics of inflow CSOs.

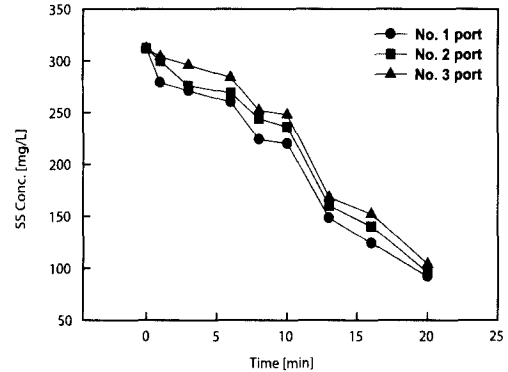


Fig. 5. The result of settling tube test.

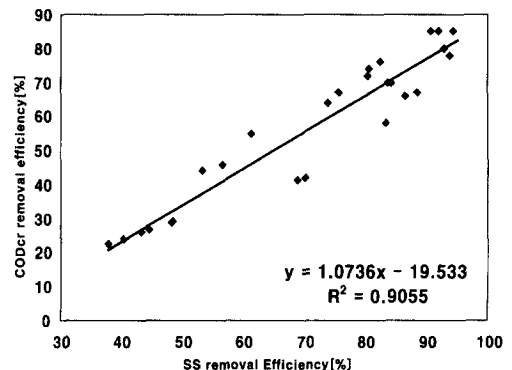


Fig. 6. The relation of SS removal efficiencies and CODCr removal efficiencies.

체 반응 시간을 20분 이하로 선정하여 운전하였고, 이 때의 침전과 부상에 따른 수질변화 특성을 측정하

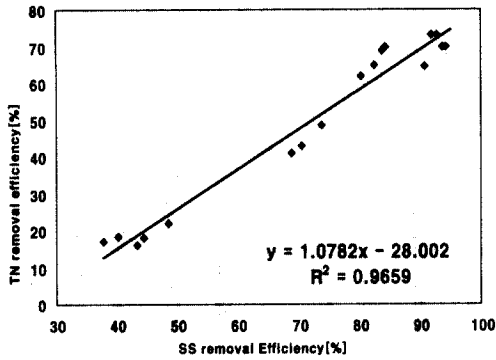


Fig. 7. The relation of SS removal efficiencies and TN removal efficiencies.

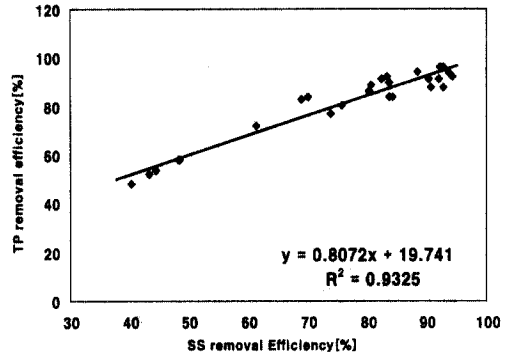


Fig. 8. The relation of SS removal efficiencies and TP removal efficiencies.

여 SS 제거효율에 따른 TN, TP, CODCr의 제거효율을 비교하였다.

Fig. 6은 DAF-system으로 CSOs의 처리시 SS 제거 효율과 CODCr 제거효율과의 상관관계를 나타낸 것이다. 전체 운전 조건에서 CODCr 제거효율은 23~85%의 범위를 나타내고 있었고, 90% 이상의 SS 제거효율을 나타내는 조건에서는 약 70%의 CODCr이 제거되는 것으로 나타났다. Fig. 7은 각 SS 제거효율에 대한 TN의 제거효율을 나타낸 것으로써 TN의 경우 전체적으로 11~73%의 제거효율을 나타내었으며, SS가 90% 이상 제거되면 약 60%의 TN이 제거 가능한 것으로 나타났다. 또한, Fig. 8에서 나타난 바와 같이 TP의 경우 전체적인 제거효율이 45~97%, 90% 이상의 SS 제거효율을 나타내는 조건에서는 약 90%의 제거효율을 나타내는 것으로 조사되었다.

DAF-system으로 CSOs의 처리시 각 SS 제거효율에

대한 CODCr 제거효율의 변화는 SS 제거효율에 비례하여 증가 혹은 감소하는 경향을 나타내고 있었고, TN 제거효율의 변화를 나타낸 Fig. 7과 TP의 제거효율을 나타낸 Fig. 8에서도 SS 제거효율에 비례하여 TN 및 TP의 제거효율이 증가 혹은 감소하는 것으로 나타났다. 이는 CSOs중의 SS 제거에 따라 CODCr, TN, TP가 SS 제거효율에 비례하여 제거되는 것을 나타내는 것으로써, CSOs 처리시 SS 제거효율이 CSOs 내에 포함된 주요 오염물질 제거효율의 대표성을 띤다고 할 수 있다. 따라서, CSOs 내의 SS 제거는 방류수체내에 오염물질의 저감 차원에서 매우 중요한 의미를 지닌다.

DAF-system으로 CSOs를 처리할 경우 90% 이상의 SS 제거효율을 나타낸 운전조건을 Table 2에 나타내었다. 본 연구에서 설계한 DAF-system을 CSOs의 처리에 적용시켜 운전한 결과 SS 제거효율이 90% 이상

Table 2. The operating condition to achieve over 90% of SS removal efficiency

Inf. Q [L/min]	RR. [%]	SSR. [%]	SS Removal ratio [%]
< 80 (HRT 15min)	70	15	90
	100	10	92
		15	95
> 100 (HRT 10min)	50	15	93
	70	10	91
		15	92
	100	5	93
		10	94
		15	94

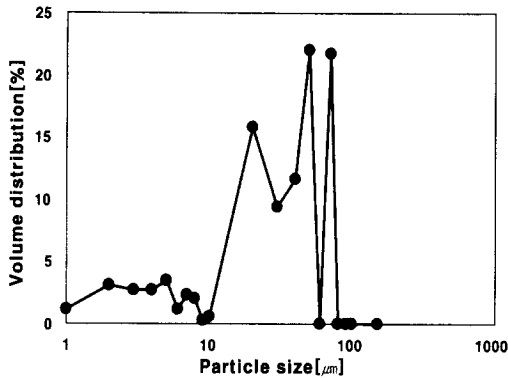


Fig. 9. The distribution of particle size below 150mm in raw water.

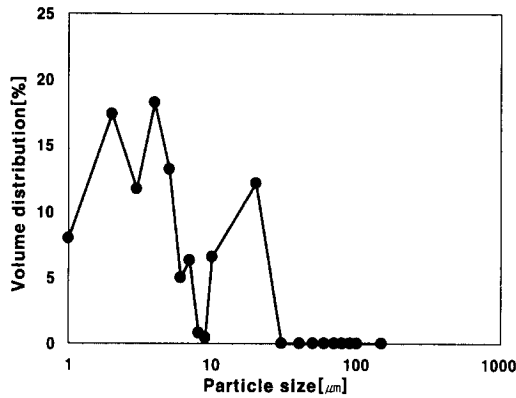


Fig. 10. The distribution of particle size below 150mm in treated water.

을 나타내는 최적의 HRT(Hydraulic Retention Time)는 10분~15분 사이로 나타났고, HRT 10분 이하와 15분 이상에서는 오히려 SS 처리효율이 낮은 것으로 나타났다. HRT 10분 이하에서는 빠른 유속으로 인한 침전물의 재부상, HRT 15분 이상에서는 부상된 슬러지의 재침강에 의해 SS 제거효율이 낮아지는 것으로 사료된다. 또한, RR(Return Ratio)은 HRT 10분에서 50% 이상, HRT 15분에서는 70%의 내부반송이 필요한 것으로 나타났으며, SS 제거효율을 90% 이상 유지하기 위해서 스킴은 HRT가 증가할수록, RR이 감소할수록 제거량을 늘려야 하는 것으로 나타났다.

Table 2의 운전조건에서 수중에 존재하는 150 μ m 이하 입자성 물질의 입도 분포의 변화는 Fig. 9와 Fig. 10에 나타내었다. 90% 이상의 SS 제거효율에서

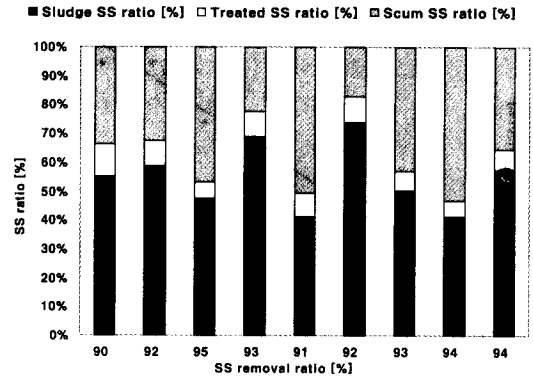


Fig. 11. The mass balance of SS ratio in sludge, treated water and scum respectively.

150 μ m 이하 입자의 입도 분포변화의 경우, 원수는 10~100 μ m 정도의 크기가 약 60%를 차지하고 있고, 처리수는 10 μ m 이하의 입자가 약 90%를 차지하는 것으로 측정되어 입자의 침강속도가 느린 10 μ m 이상의 크기를 갖는 입자의 대부분이 DAF-system에 의한 부상으로 제거된 것으로 나타났다.

DAF-system으로 유입되는 원수와 슬러지, 스킴, 처리수내의 SS 농도와 유량에 의해 산정한 SS 부하량으로 침강과 부상에 의해 제거되는 각각의 SS 제거효율은 Fig. 11과 같다. 침강에 의한 SS 제거효율은 약 45~65%로 나타났고, 부상에 의한 SS의 제거효율은 약 20~50%로 나타났으며, 부상에 의한 SS 제거효율이 침강에 의한 SS 제거효율의 약 70% 수준을 나타내는 것으로 나타났다. 이 때, 전체 SS 부하량에 대한 오차율은 약 2~16%로써, 평균 약 10%의 오차율이 나타났지만, 이는 운전과 sampling에 따른 시간적 차이와 분석시 SS 입자크기의 불균일성 등에 의하여 발생한 것으로 사료되어 각 공정의 SS 제거효율의 비율에는 영향이 없을 것으로 사료된다.

4. 결론

강우시 발생하는 CSOs의 시간에 따른 수질변화 특성과 침강특성 그리고 DAF-system의 적용에 의한 수질의 변화 특성, 입도 분포의 변화 및 물질수지에 의한 침전과 부상공정의 SS 제거효율에 관하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. CSOs는 강우 초기에 급격한 수질 변화를 나타내며, SS 변화와 TN, TP, CODCr의 변화는 유사한 경향을 보였다.

2. CSOs 대하여 시행한 침전관 분석 결과, 침전 처리에 소요되는 총 시간은 약 15~20분으로 조사되었고, 이 때의 평균 SS 제거효율은 약 60%로 나타났다.

3. DAF-system으로 CSOs의 처리시 SS 제거에 의한 CODCr, TN 및 TP 제거효율의 변화는 SS 제거효율과 유사한 거동을 보였다.

4. SS 제거효율이 90% 이상을 나타내는 최적의 HRT는 10분~15분 사이로 나타났고, SS 제거효율을 90% 이상 유지하기 위해서 스크럼 HRT가 증가할수록, RR이 감소할수록 제거량을 늘려야 하는 것으로 나타났다.

5. DAF-system으로 CSOs의 처리시 90% 이상의 SS 제거효율에서 침강속도가 느린 10 μ m 이상의 크기를 갖는 입자의 대부분이 DAF-system에 의해 제거되는 것으로 나타났다.

6. DAF-system으로 CSOs의 처리시 90% 이상의 SS 제거효율을 나타내는 운전조건에서는 침전에 의해 평균 53%, 부상에 의해 평균 37%의 SS가 제거되어 부상에 의한 SS 제거효율은 침강에 의한 SS 제거효율의 약 70% 수준을 나타내는 것으로 나타났다.

따라서, DAF-system에 의한 CSOs의 처리는 침전에 의해 평균 53%, 부상에 의해 평균 37%의 SS가 제거되어 전체 유입수 SS 부하량의 90% 이상이 제거 가능하기 때문에 매우 효율적이고, HRT가 10분~15분으로 중력식 침전지의 HRT인 3~5시간에 비해 약

95%의 체류시간을 줄일 수 있기 때문에 매우 경제적인 것으로 나타났다.

참고문헌

- 김태희 외(1998) 합류식 하수관거 월류수의 침전처리특성, *대한토목학회 학술발표회 논문집*, 1998(3), pp. 507-510.
- 배요섭(1998) 합류식 하수관거 월류수(CSOs) 중 입자성 오염물질의 침강성, *한양대학교*.
- 신용배, 윤현식(1998) 도심지 합류식 하수관거 월류수 오염물질 침강특성, *한국물환경학회지*, 14(4), pp. 425-432.
- 이종각, 방기웅, 이준호(1996) 합류식하수관의 오염물질 유출특성에 관한 연구, *대한환경공학회지*, 18(10), pp. 1147-1160.
- 이태관 외(2001) 중량천 수질 관리방안, *수처리기술*, 9(1), pp. 45-52.
- 이태관(2003) CSOs(Combined Sewer Overflowers)의 오염부하량 저감을 위한 기술개발, *수처리기술*, 11(3), pp. 87-93.
- 한재석, 김주훈, 김만식(2000) 유역의 비점오염원 부하량 산정에 관한 연구, *환경관리학회지*, 6(1), pp. 147-157.
- Aiguier, E., Chebbo, G., Bertrand-Krajewski, J.-L., P., and Tyack, N. (1996) Methods for determining the settling velocity profiles of solids in storm sewage, *Wat. Sci. Tech.*, 33(9), pp. 109-115.
- Metcalf & Eddy, Inc. (1991) *wastewater Engineering*, 3rd ed, McGraw-Hill, New York
- Tyak, J. N., Hedges, P. D. and Smisson, R. P. M. (1996) The relationship between settling velocity grading and the characteristics of the contributing catchment, *Wat. Sci. Tech.*, 33(9), pp. 135-142.