

CSOs 처리를 위한 실증규모 응집침전시스템의 설계평가

이승철 · 하성룡⁺

충북대학교 도시공학과

Evaluation of Pilot scale Coagulation system Design for CSOs treatment

Seung-Chul Lee · Sung-Ryong Ha⁺

Department of Urban Engineering, Chungbuk National University, Cheongju City, Korea

요 약

도시유역에서 강우시에 발생하는 합류식 하수관거 월류수(CSOs; Combined Sewer Overflows)을 처리하기 위해 물리화학적 처리기법을 적용한 실증규모의 응집침전시스템을 개발하였다. 이에 앞서 응집침전시스템은 lab-test를 통해 도출된 최적의 설계조건이 실증규모로 증설할 시에 설계인자가 제대로 반영되었는지 평가가 필요하며, 최적조건에 따라 설계에 반영하였다 하더라도 대상원수의 유입특성에 따라서도 처리결과에 대한 평가가 다를 수가 있다. 이에 본 연구에서는 청주하수처리장에 유입되는 CSOs를 대상으로 각각 1m³/일과 100m³/일의 CSOs를 처리할 수 있는 실험실규모 및 실증규모의 장치를 통해 실험을 수행하였다. 실증규모의 시스템을 운전하여 lab-test에서 도출된 설계인자와의 상사성을 검토하고, 이를 바탕으로 높은 처리효율을 유지하기 위한 운전인자를 적용하여 CSOs를 처리함에 있어 그 가능성을 평가하였다. 그 결과, 실험실 규모의 설계조건과 상사성을 만족하는 인라인믹서와 응집반응조의 조건을 도출할 수 있었으며, pilot-test를 운전하기 위한 적정 응집제 주입량을 도출하였고, 결과적으로 실증규모의 시스템에서도 CSOs를 대상으로 높은 효율의 응집침전 처리를 가능하게 할 수 있었다.

핵심용어 : 응집침전시스템, 합류식 하수관거 월류수, 설계인자, 상사성, 규모확장

Abstract

A pilot scale coagulation system, which has a function of physicochemical treatment, was developed to treat Combined sewer overflows(CSOs). This coagulation system requires evaluation of optimum design factors whether it has reflected those of lab scale system, moreover, the pilot scale system can be evaluated differently according to the characteristics of influent CSOs even though it has reflected lab scale's design factors. We conducted an experiment using lab scale system that could treat 1m³ of CSOs in a day, and also pilot-scale system with 100m³/day CSOs flowed into the Cheongju sewage treatment plant. Therefore the aim of this study is to evaluate a hydraulic similarity between the design factors of pilot scale and those of lab scale coagulation system, and to evaluate feasibility of the coagulation system for the CSOs treatment with optimum operation conditions. From the result of pilot-test, we drew the optimum operation factors of in line mixer and flocculator having similarities with those of lab scale system as well as the optimum coagulant dose. Finally we confirmed that the coagulation system has feasibility to treat the CSOs with high removal efficiency.

Keywords : Coagulation system, Combined Sewer Overflows, Design factors, Hydraulic similarity, Scale up

1. 서론

합류식 하수관거 월류수(CSOs; Combined Sewer Overflows)는 강우시 합류식 하수관거의 우수토실에서 설계치 이상으로 차집되지 않는 하수를 말하며, 건기시 지표면이나 하수관거에 퇴적된 오염물질이 우기시에 하수와 함께 고농도로 하수처리장으로 유입되고 있다. 하수도시설기준에서 합류식 차집관거 용량은 건기시 시간 최대 오수량의 3배(3Q)를 적용하여 설계하고 있으나,

하수처리장 처리량 1Q를 제외한 2Q는 월류시켜 적정처리 없이 방류하는 실정이다. 수질오염총량관리에서도 CSOs로 인한 하수처리장의 관거배출비가 해당유역의 비점오염배출량 산정에 중요한 요소로 작용하기 때문에 CSOs의 유량 및 수질관리는 필요하다(NIER, 2008)

이러한 CSOs는 그 속에 포함된 오염물질 중에서 입자성 물질이 가장 큰 비율을 차지하고 있기 때문에 입자성 오염물질의 침강특성을 이용한 침전 및 응집공정이 적용되고 있다(Shin and Yoon, 1998; Yoon et al., 2006).

⁺ To whom correspondence should be addressed. simplet@cbnu.ac.kr

따라서 CSOs의 처리를 위하여 적은 시설용량으로도 오염물질 제거의 효율이 높고 안정적인 유출수질을 기대할 수 있는 급속 응집침전 공정의 도입이 필요하다. 국외에서는 이미 CSOs처리를 위한 물리화학적 처리기법을 적용하는 것이 일반화되어 있다. 국외의 경우, ACTIFLO나 DENSADEG 등이 대표적으로 이용되고 있으며 (Guibein et al., 1994; Dauthuille, 1992), 국내에서는 CSOs의 처리에 대표적으로 URC(Ultra Rapid Coagulation)가 이용되고 있다(Yoon and Kim, 2008). 또한 Vortex separator(Han et al., 2009)나, Swirl조(Bang and Lee, 2001)등 장치형 시설을 이용하여 CSOs를 처리하는 연구가 진행되고 있다. 하지만 이들 대부분이 CSOs를 처리하는 시설임에도 불구하고, 상수도시설기준(KWWA, 2004)을 참고로 설계하고 있기 때문에 원수의 오염물질에 따른 설계기준 마련이 요구된다.

급속 응집침전 공정의 개발과정에서 jar-test 및 lab-test를 통해서 산정된 최적혼화 및 응집조건이 기하학적 및 동역학적 상사성의 고려없이 현장규모의 시설에 적용하면 규모확장 과정에서의 기하학적 형상이나 교반강도 등의 동역학적 상이성으로 그 값의 적용이 어렵게 된다(Jarmer et al., 2006; Park et al., 2001). 국내외적으로 이러한 규모확장 과정에서 발생하는 혼화효율의 변화를 최대한 줄이는 방법적인 연구가 진행되고 있으며, 근래에는 전산유체역학(Computer Fluid Dynamics)을 이용하는 방법이 제시되고 있다(Li et al., 2005). 전산유체역학은 컴퓨터의 획기적인 발전에 힘입어 전산해석기법에 유체역학을 접목한 학문으로서, 1970년대 이후로 기계, 항공, 조선, 토목 및 해양의 공학 등에 널리 이용

되고 있다. 전산유체역학은 시간과 경비 측면에서 실험의 양을 줄이고, 수치해석을 컴퓨터를 통해 빠르고 정확하게 계산할 수 있는 장점이 있다. 따라서 실증규모의 응집침전시스템이 현장에 적용되기 앞서, Jar-test와 lab-test를 통해 도출된 최적의 설계조건이 실증규모로 규모를 확장할 시에 설계인자가 제대로 반영되었는지를 전산유체역학을 통해 검토하였다. 또한, 최적조건에 따라 설계에 반영하였다 하더라도 대상원수의 유입특성에 따라라도 처리결과에 대한 평가가 다를 수 있기 때문에 현장상황에 따른 추가적인 운전조건 도출의 필요성을 인식하였다.

본 연구에서는 청주하수처리장에 유입되는 CSOs를 대상으로 실증규모시스템을 운전하여 lab-test에서 도출된 설계인자와의 상사성을 검토하고, 이를 바탕으로 높은 처리효율을 유지하기 위한 운전인자를 적용하여 CSOs를 처리함에 있어 그 가능성을 평가하였다.

2. 연구방법

2.1 실증규모 응집침전시스템의 구성

현장적용을 통한 CSOs처리를 위한 실증규모의 응집침전시스템은 물리화학적 처리를 기본개념으로 크게 응집 및 침전기작에 의해 오염물질을 처리하며, 이를 위하여 인라인믹서, 응집반응조, 침전조 및 약품주입시설로 구성하였다(그림 1). 본 시스템의 크기는 66cm×140cm×70cm(W×L×H)로 유효용량은 1.4m³이다. 설계유량 100m³/day(70L/min)에 대해 응집반응조에서 5분, 침전조에서 15분을

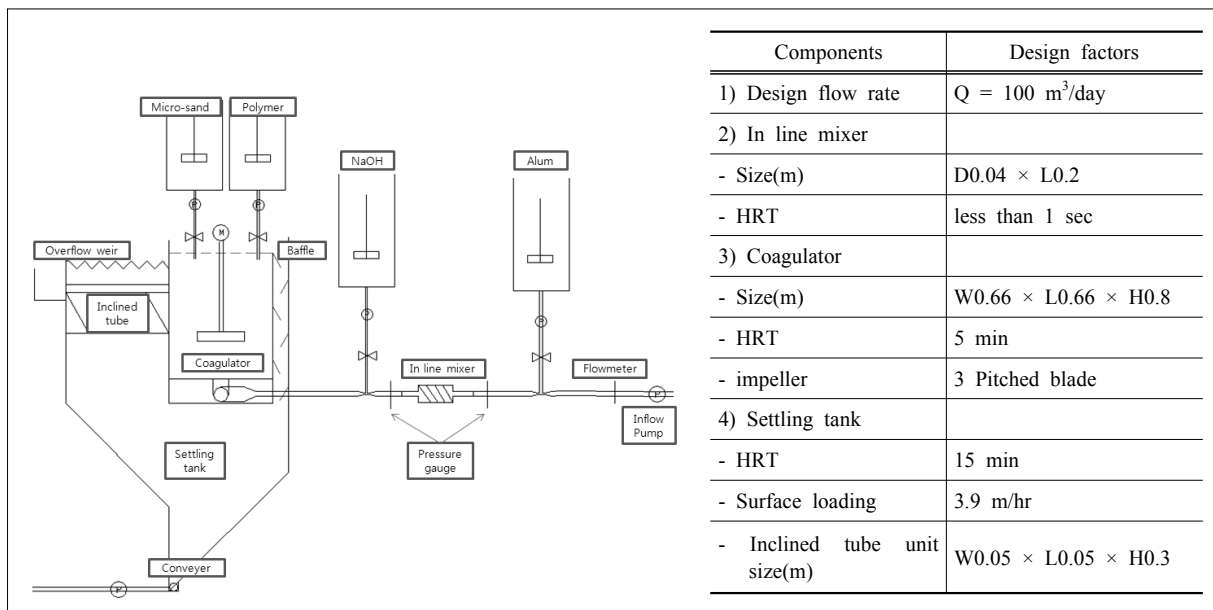
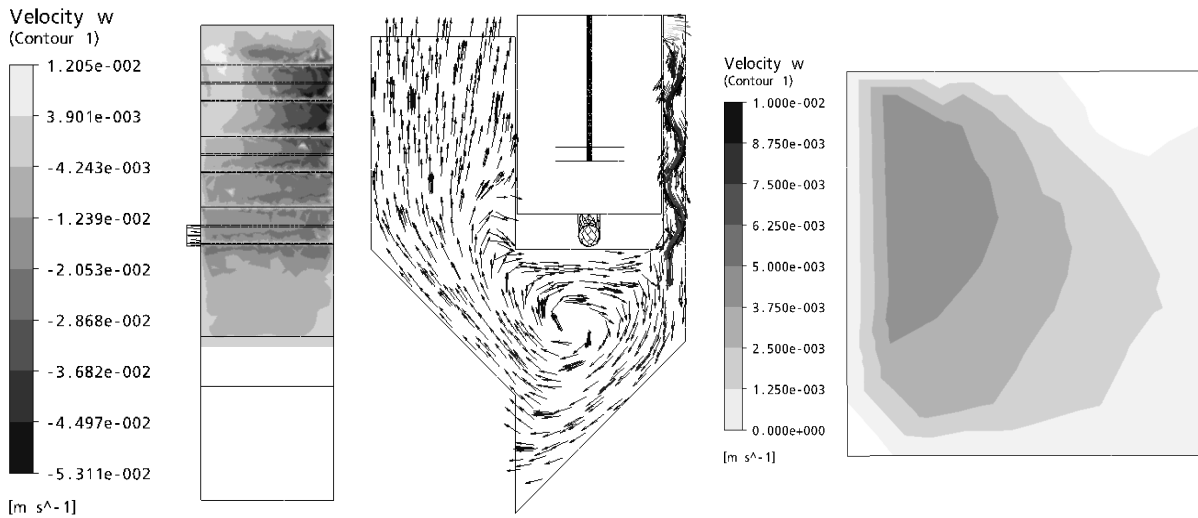


Fig. 1. Schematic diagram and design factors of the pilot scale coagulation system.



(a) Stabilization of settling velocity in baffle (b) dynamic flow field in settling tank without inclined tube (c) Distribution of rising velocity in upper plane of settling tank

Fig. 2. Flow streamline and velocity distribution in the coagulation system using CFD analysis.

체류하도록 제작하였다. CSOs는 유입펌프를 통해 유량을 거쳐 정량적으로 유입되며, 후단에 위치한 인라인믹서에 유입되어 응집제와 함께 수리학적 급속으로 교반된다. 급속교반으로 형성된 플록입자들이 응집반응조 하부로 유입되어 응집보조제인 polymer(anion계열 A-101)와 가중응집을 위한 micro-sand(평균 100 μ m)의 입경분포를 함께 기계식 pitched blade impeller에 의해 완속으로 교반되어 플록이 응집되도록 한다. 생성된 조대화된 플록은 침전조로 유입되는데, 이때 baffle에 의해 침전조로 유입되는 유체의 유속을 균일화하며 응집반응조에서 발생하는 회전류를 감소하여 유체를 안정화시킨다(그림 2(a)). 최종적으로 경사관을 거치면서 월류위를 통해 처리수가 유출되도록 하였다. 본 시설이 앞서 소개한 기존의 CSOs처리 응집침전시스템들과 구분될 수 있는 차이점으로 첫째로 급속혼화에 인라인믹서를 적용하였다는 점, 둘째는 침전조에 경사관 대신에 경사관을 두었으며, 전산유체모델링을 사용하여 침전조에 배플을 설치하는 등과 같은 구조적인 차이점을 가지고 있다는 점이다(그림 2(b)). 이는 일반적으로 침전조에서 발생하는 단락류를 방지하고, 또한 침전조 상부로의 상승유속의 분포를 최대한 균등하게 하였다(그림 2(c)).

2.2 설계인자의 상사성 검토

2.2.1 인라인믹서에서의 교반강도와 교반시간

실증규모로 설계된 인라인믹서는 실험실규모에서의 설계 및 운전조건과 기하학적 상사성과 동역학적 상사성을 맞추어야 규모확장 과정에서 발생하는 혼화효율의 변화를 최대한 줄일 수 있다. 따라서 본 연구에서는 실

증규모의 인라인믹서에 대한 설계평가를 위하여 실험실 규모의 2배 크기(체적의 8배)로 늘려 기하학적 상사성을 고려하였으며, 동역학적 상사성을 고려하기 위해 단위부피당 투입되는 에너지의 비의 관계인 교반강도(G)를 산정하였으며 교반의 정도는 G \cdot t값을 통해 비교하였다. 교반시간(t)은 유입유량(Q)을 인라인믹서 내부의 체적(V)으로 나누어 산정하였다. 인라인믹서의 G값은 교반기를 통한 손실수두와 관계가 있으며, 손실수두는 그림 1에서와 같이 인라인믹서의 전·후단에 위치한 압력계를 통해 수두를 산정하였다. 정적 교반기에 의해 방출된 동력은 다음과 같은 식에 의해 계산할 수 있다.

$$P = \gamma Qh \tag{1}$$

$P =$ 소요동력 (kW)

$\gamma =$ 물의 단위중량 (kN/m^3)

$Q =$ 유량 (m^3/s)

$h =$ 액체가 기계장치를 지날 때 생기는 손실수두 (m)

위 식(1)을 아래의 식(2)에 대입하여 정리하면 다음과 같은 식(3)과 같이 정리될 수 있다.

$$G(\text{sec}^{-1}) = \left(\frac{P}{\mu \times V} \right)^{\frac{1}{2}} \tag{2}$$

$$G(\text{sec}^{-1}) = \left(\frac{\gamma \times Q \times h}{\mu \times V} \right)^{\frac{1}{2}} \tag{3}$$

$\gamma =$ 물의 비중 ($9.804kN/m^3$ at $10^\circ C$)

$Q =$ 유량 (m^3/sec)

$h =$ 손실수두 (m)

$\mu =$ 물의 점성 ($1.307N \cdot s/m^3 \times 10^{-3}$ at $10^\circ C$)

$v =$ Inline mixer volume ($0.016m^3$)

2.2.2 응집반응조의 교반강도

응집반응조는 플록형성단계로서 완속교반에 의해 최대한 플록을 깨지 않고 키우는 것이 목적이므로 교반강도를 중요한 인자로 판단하고, 실증규모 응집반응조의 설계평가를 위하여 실험실규모에서의 설계인자로서 교반강도를 동역학적 상사성 측면에서 검토하였다. 실증규모에서는 실험실규모에서와 다르게 원수의 유입구 위치가 응집반응조 하부로 변경되었고, 임펠러 날개의 모양도 변경되었기 때문에 실험실규모 시스템과의 동역학적 상사성 검토가 더욱 중요하게 요구되었다. 본 연구에서와 같은 기계식 교반기를 사용할 경우에 교반강도는 식(2)을 이용하여 산정할 수 있다. 단, 물에 가해진 동력인 P는 다음 식(4)와 같은 방법으로 산정하였으며, 산정된 동력 P는 식(2)에 대입하여 교반강도를 산정할 수 있었다.

$$P = N_p \mu n^2 d^5 = N_p \rho n^3 d^5 \quad (4)$$

N_p = 임펠러 동력계수
 μ = 점성계수 ($N \cdot s/m^2$)
 n = 임펠러 속도, 초당회전수 (rps)
 d = 임펠러 직경 (m)
 ρ = 유체 밀도 (kg/m^3)

2.2.3 적정약품주입량

실증규모 응집침전시스템의 현장운영에 따른 운전을 위한 적정약품주입량 도출을 위하여 충청북도 청주시 환경사업소에 유입되는 CSOs를 대상으로 실험을 수행하였다. 응집제는 Alum (Al_2O_3 , 17%)를 사용하였고, 응집 보조제로 polymer (음이온성 고분자응집제(A-101P))와

Table 1. Operation conditions of lab scale coagulation system

Component	Parameters	Operation condition
In line mixer	Velocity gradient (G, sec^{-1})	374
	Mixing time (t, sec)	1.3
	G*t	486.2
Coagulator	Mixing velocity (rpm)	200
	Velocity gradient (G, sec^{-1})	77.4
	HRT (min)	5
Coagulant dosage	Alum dose (mg/L)	150
	Polymer dose (mg/L)	0.8
	Micro-sand dose (mg/L)	20

Micro-sand(평균 100 μ m의 크기)를 사용하였다. 적정약품주입조건을 결정하기 위하여 강우시 유입부와 유출부에서 탁도를 계측하였다. 유입수질이 시간에 따라 급격하게 변동되기 때문에 실증규모의 적정약품주입량을 결정함에 있어서 lab-test에서와 같이 고정된 유입수질 대비 처리수질의 변화로 그 적정량을 판단하기 어렵다. 따라서 유입수 탁도 대비 유출수의 탁도를 처리효율로 감안하여 lab-test의 결과와 비교하였다. 비교의 기준인 실험실 규모의 응집침전시스템에서 도출된 설계 및 운전조건은 표 1에 나타났다.

2.3 실증규모 응집침전시설에 의한 CSOs의 수질변화

본 연구에서는 강우시 청주시 환경사업소로 유입되는 CSOs를 실증규모 응집침전시스템을 이용하여 처리하였고, 강우가 발생하면 유입펌프를 가동시켜 분당 약 70L/min의 CSOs를 유입시켜 처리하였다. 유입수와 처리수의 모니터링과 시료의 채취는 CSOs가 유입되는 시점부터 초기 강우유출수에 의해 수질이 높아져 최고점에 도달할 때까지 20분 간격으로 수행하였으며, 이 시점 이후부터는 모니터링 시간간격을 늘려가며 동시에 채수를 하였다. 시간 변화에 따른 수질 모니터링은 탁도를 분석하였으며, 채수한 시료에 대해서는 SS, BOD₅, COD_{Cr}, TN, TP항목을 분석하였다. 탁도의 측정은 Turbidimeter (2100P, HACH Co.)를 사용하여 측정하였으며, COD_{Cr} 및 SS, T-N, T-P는 Standard methods에 준하여 측정하였다.

3. 결과 및 토의

3.1. 인라인믹서의 G, t값 산출 및 평가

실증규모 인라인믹서의 적정 G*t값을 알아보기 위해 유량변화에 따른 G, t값의 변화에 따라 유출수의 탁도변화를 측정하였다(그림 3). 응집반응조의 HRT를 5분으로 유지하기 위한 실증규모 시스템의 설계유입유량인 70L/min에서의 교반강도는 약 3000 sec^{-1} 로써, 이때의 교반시간을 산정하여 산출한 G*t값은 415.9 로 도출되었다. 그림 4는 Pilot-test를 통해 얻은 G*t값에 따른 처리효율을 나타낸 그림으로써, 70L/min의 유량을 시스템으로 유입시킬 때 가장 좋은 처리효율을 보이고 있다. 비록 실험실규모에서의 적정 G*t값(486.2)보다 실증규모에서 G*t값이 낮은 값에서 적정 값이 도출되었으나, lab-test의 결과를 따라 손실수두를 증가시켜 에너지손실을 늘리는 것 보다 적은 값에서 최적의 처리효율을 보이는 G*t값을 찾는 것이 실증규모 시스템으로서의 설계가 바람직 할 것으로 판단하였다.

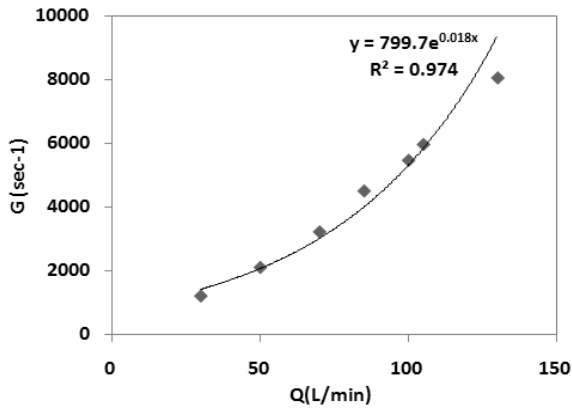


Fig. 3. Velocity gradients(G) according to the inflow rate change in the in line mixer.

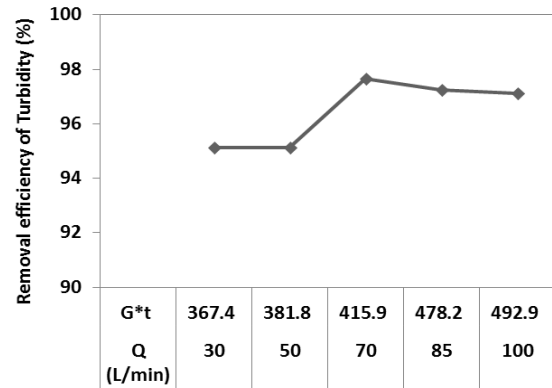


Fig. 4. Removal efficiencies of turbidity according to the G*t value change.

3.2 응집교반강도 및 교반속도 평가

본 연구에서는 Lab-test에서의 연구를 보완하여, 플록을 응집시키는 응집반응조의 적정 교반속도 및 교반강도를 Pilot-test를 통하여 그 값을 도출하였다. 먼저, 응집반응조의 적정 교반속도(rpm)를 알아보기 위하여 실증규모 응집반응조의 교반기 회전속도 변화에 따른 효율을 검토하였다. 초기 약품주입량은 그 결과 그림 5와 같이 교반속도가 증가함에 따라 탁도의 처리효율이 증가하여 60rpm에서 최적처리효율을 보이다가 90rpm 이후부터는 급격하게 처리효율이 감소하는 결과를 보였다. 이는 적정 교반속도 이상으로 교반하게 되면 플록이 풀리

며 의한 응집효과를 기대하지 못하고 오히려 플록에 전단력이 발생하여 깨짐 현상이 발생하였고, 이 작은 크기의 플록은 침전되지 못하고 유출수에 영향을 미친 것으로 판단된다.

응집반응조의 교반속도 변화에 따른 속도경사를 식 (2)와 (4)를 적용하여 산정한 결과, 그림 6과 같은 그래프를 얻을 수 있었다. 그 결과 실증규모의 응집반응조 적정 G값은 적정 교반속도인 60rpm일 때의 속도경사 값인 80sec-1인 것으로 분석되었으며, 이 값을 실험실규모 응집반응조의 교반속도 200rpm에서 적정 교반강도인 77.4sec-1와 비슷한 값을 갖는 것으로 실증규모 설계가 타당하다고 평가할 수 있다.

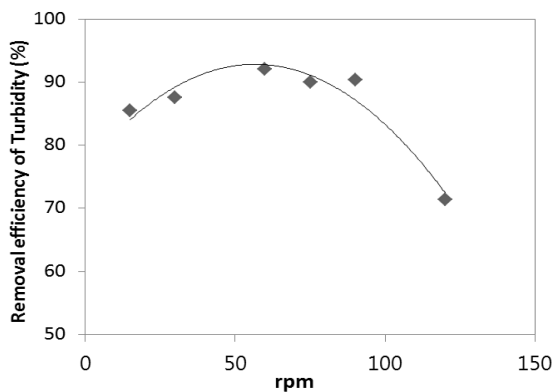


Fig. 5. Removal efficiencies according to the coagulator mixing time(rpm) change.

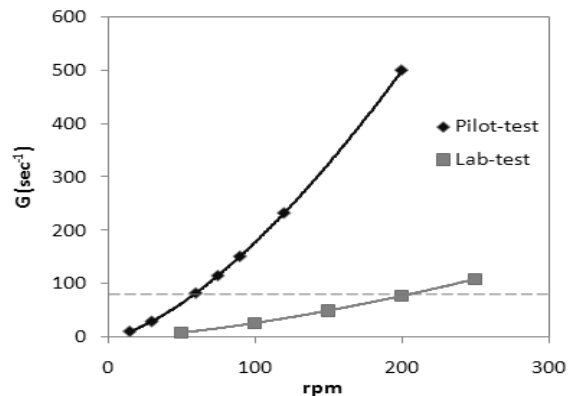


Fig. 6. Velocity gradients(G) according to the coagulator mixing time(rpm) change.

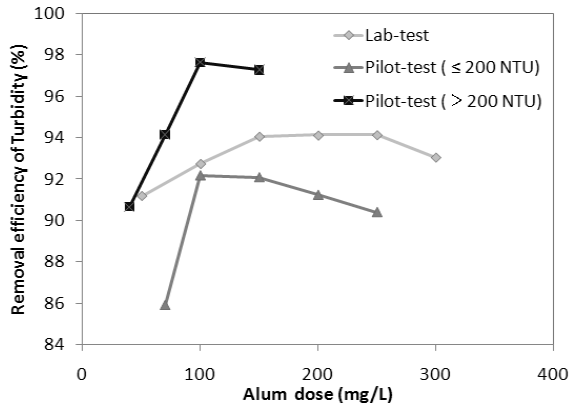
3.3. Pilot-test를 위한 적정주입량 검토

그림 7은 실증규모 응집침전시스템의 현장운용을 바탕으로 lab-test의 결과와 비교하여 적정약품주입량을 평가한 결과를 보여주고 있다. 그림 7(a)는 응집제인 Alum

의 적정주입량으로써, CSOs 유입수질 특성상 고탁도 오염물질이 유입되는 강우초기와 이후 시간이 지남에 따라 저탁도 오염물질이 유입되는 시기를 구분하여 Alum의 주입량을 검토하였다. 탁도 기준으로 200 NTU를 기준으로 구분하여 Pilot-test를 수행한 결과, 유입 탁도가

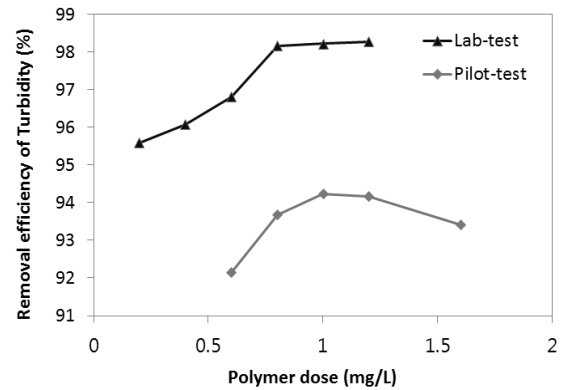
고농도와 저농도일때 모두에서 100mg/L를 주입하는 것이 적절한 것으로 분석되어 Lab-test에서 도출된 적정주입량인 150mg/L보다 적은 약품주입량을 나타냈다. 특히, CSOs 발생 초기 200 NTU이상 고탁도가 유입되더라도 본 실증규모의 응집침전시스템에서는 적은 응집제 주입량으로 고효율의 처리가 가능하였다.

그림 7(b) Polymer의 적정주입량을 검토한 결과로써,



(a) Optimum dosage of alum

Pilot-test에서는 lab-test결과와 비교하여 0.8mg/L에서 1.0mg/L로 다소 적정주입량이 증가하였다. 200 NTU이하의 저농도의 탁수를 이용한 실험실규모에서와 달리 실증규모의 시스템에 유입되는 고농도의 탁질들에 의해 생성된 플록들의 수가 상대적으로 늘어남에 따라 Pilot-test에서 polymer가 더 소모되었을 것이라 원인을 생각할 수 있다.



(b) Optimum dosage of polymer

Fig. 7. Optimum coagulant dosage through pilot-test.

3.4 실증규모 응집침전시설에 의한 CSOs의 처리결과

실증규모 시스템에서의 최적 약품주입 조건인 Alum 100mg/L, Polymer 1.0mg/L 및 Micro-sand 20mg/L를 주입하고, 인라인믹서와 응집반응조에서 검토된 적정설계 조건들에 만족하도록 운전하여 2010년 8월 24일 발생한 강우사상에서 CSOs를 처리하였다(표 2). CSOs의 시간별 유입량 및 유입수질은 그림 8과 같이 유량이 강우초기 비점오염원의 유입으로 인하여 유입수질이 크게 증가하였다가 감소하는 특성을 보였다. 유입수질의 변동에도 불구하고 평균적으로 탁도 98.7%, TCODcr 88.2%, BOD 88.4%, SS 97.4%, TN 27.8% 및 TP 98.2%의 높은 처리 효율을 보이며 비교적 안정된 처리수를 얻을 수 있었다. 그러나 6시 이후 pH가 6.0이하로 떨어지면서 처리효율이 급감하는 그래프를 보여준다. 일반적으로 유입되는 CSOs의 평균 pH가 7이상이고, 본 실험에 사용한 polymer의 적정 pH범위가 6~8 정도임을 감안할 때, 이 결과는 시설에 원인을 찾기보다는 급회 강우사상에서 유입수의 pH가 6.0 이하로 특히 낮게 유입되는 경우가 발생했기 때문으로 판단된다. 따라서 앞으로 연속적인 CSOs의 처리에 앞서 본 연구에서 검토한 설계인자 및 운전인자 이외에 적정 pH 유지를 위한 방안으로 수산화

나트륨(NaOH)를 주입하여 적정 pH가 유지될 수 있도록 장치에 대한 보완과 함께 장기간모니터링을 통한 연구가 계속 되어야 할 것으로 판단된다.

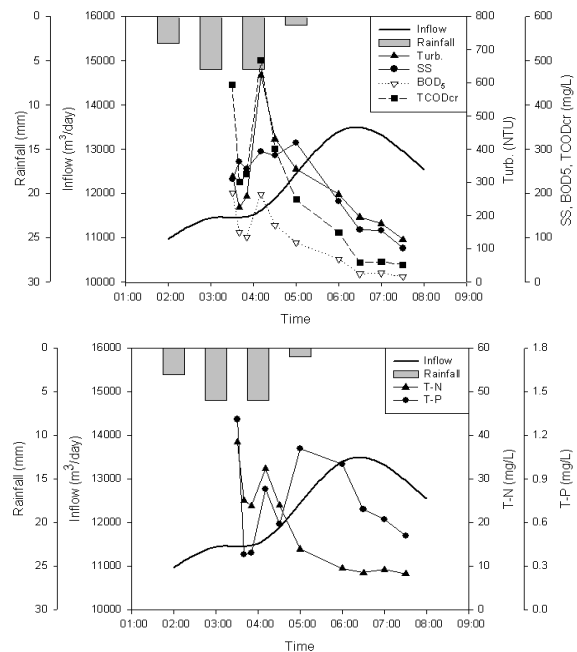


Fig. 8. Characteristics of influent CSOs.

Table 2. Removal efficiencies of CSO treatment through operating the pilot scale coagulation system (2010. 08. 24.)

Time	pH	Removal Efficiencies (%)					
		Turbidity	TCODcr	BOD ₅	SS	T-N	T-P
3:50	6.2	97.5	95.5	92.1	97.7	49.0	97.4
4:10	6.17	99.5	87.3	82.5	98.0	47.3	98.8
4:30	6.1	99.2	90.5	91.1	97.9	33.7	96.6
5:00	6.09	98.7	79.3	87.8	96.2	-18.7	99.9
6:00	5.57	96.4	81.1	81.3	95.6	29.4	99.9
6:30	5.24	91.2	69.0	48.6	81.4	34.2	99.9
7:00	5.04	88.4	32.6	23.5	81.0	41.7	98.4
7:30	4.98	81.2	0.0	-21.0	60.5	30.8	98.0
Average	5.67	94.0	66.9	60.7	88.5	30.9	98.7

4. 결론

본 연구는 도시유역에서 발생하는 CSOs의 처리를 목적으로 실험실규모시스템에 의해 결정된 설계인자 및 운전인자를 반영하여 Pilot-scale의 응집침전시스템을 제작하고 현장에 적용하여 유출수의 수질을 평가한 결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, Pilot-test를 위한 응집침전시스템의 운전인자 도출을 위하여 각 공정별로 lab-test를 통해 얻은 설계인자를 검토하는 과정 중에 인라인믹서는 $G \cdot t$ 값을 415.9, 응집반응조의 교반강도를 약 80sec^{-1} 을 적용한 결과, 실증규모에서도 높은 처리효율을 얻을 수 있었다. 따라서 실험실규모의 인라인믹서와 응집반응조를 규모 확장함에 있어 이들의 기하학적 상사성 및 동력학적 상사성을 고려한 실증규모의 설계가 필요함을 알 수 있다.

둘째, 실증규모 응집침전시스템의 운전에 있어서 고탁도의 CSOs를 대상으로 Alum 및 polymer의 적정 주입량을 실험한 결과, Alum은 lab-test에서의 적정주입량보다 적은 100mg/L 를 주입하여도 높은 응집효율을 얻을 수 있었으며, polymer의 경우는 1.0mg/L 에서 높은 응집효율을 얻을 수 있었다.

마지막으로 실증규모시스템에 이상의 최적 약품주입량과 인라인믹서와 응집반응조에서 검토된 조건들에 만족하도록 운전한 결과, 유입부하의 변동이 큰 CSOs의 처리에 있어서 본 시스템은 안정적으로 처리수질을 확보할 수 있었다. 추후 연속적인 pilot-test를 진행하기 위해서는 적정 pH 유지 등의 추가적인 운전인자를 검토하는 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

사 사

이 논문은 2012년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임[No.2011-0028914].

References

- Bang, KW and Lee, JH (2001). Combined sewer overflow control using the swirl concentrator, *J. of Korean Society of Environmental Engineers*, 23(1), pp. 21-30. [Korean Literature]
- Dauthuille, P (1992). The DENSADEG a new high performance settling tank, *Proceedings of 5th Gothenburg Symposium on Chemical Water and Wastewater Treatment*, pp. 135-150.
- Guibein, E, Destalle, F, Binot, P (1994). The ACTIFLO Process: A highly compact and efficient process to prevent water pollution by stormwater flows, *Water Science and Technology*, 30(1), pp. 87-96.
- Han, JK, Joo, JY, Lee, BJ, Na, JH, Park, CH (2009). Optimal operating condition of vortex separator for combined sewer overflows treatment, *J. of Korean Society of Water and Wastewater*, 23(5), pp. 557-564. [Korean Literature]
- Jarmer, DJ, Lengsfeld, CS, Randolph, TW (2006). Scale-up criteria for an injector with a confined mixing chamber during precipitation with a compressed-fluid antisolvent, *The Journal of Supercritical Fluids*, 37(2), pp. 242-253.
- Korea Water and Wastewater works Association (KWWA)

- (2004). *Water Supply Facilities Standard*, Ministry of Construction and Transportation. [Korean Literature]
- Li, M, White, G, Wilkinson, D, Roberts, KJ (2005). Scale up study of retreat curve impeller stirred tanks using LDA measurements and CFD simulation, *Chemical Engineering Journal*, 108(1-2), pp. 81-90.
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2008). *The 2 Stage Technical Guideline of Korean Total Maximum Daily Load*, Ministry of Environment, Korea. [Korean Literature]
- Park, NS, Park, HK, Kim, UY, Han, SC (2001). Application of hydraulic similarity to Jar - test for optimizing dosages of coagulants, *J. of Korean Society of Environmental Engineers*, 23(11), pp. 1965-1874. [Korean Literature]
- Shin, EB and Yoon, HS (1998). Pollutants settling characteristics of combined sewer overflows in urban area, *J. of Korean Society on Water Quality*, 14(4), pp. 425-432. [Korean Literature]
- Yoon, HS, Lee, DJ, Park, YS (2006). Application of particle size analysis to predict the settleability of CSO pollutants, *J. of Korean Society of Water and Wastewater*, 20(2), pp. 295-302. [Korean Literature]
- Yoon, TI and Kim, CG (2008). Case studies on rapid coagulation processes to cope with total emission controls, *Desalination*, 231, pp. 290-296.
- 논문접수일 : 2011년 11월 07일
○ 심사의뢰일 : 2011년 11월 10일
○ 심사완료일 : 2013년 02월 15일