

## 강우유출수의 신속한 처리를 위한 고속응집시스템의 성능 평가

-실험실 규모 장치를 중심으로-

### Performance Evaluation of Lab-scale High Rate Coagulation System for CSOs Treatment

권은미<sup>1\*</sup> · 오석진<sup>1</sup> · 조성주<sup>1</sup> · 이승철<sup>2</sup> · 하성룡<sup>2</sup> · 임채환<sup>3</sup> · 박지훈<sup>3</sup> · 강선홍<sup>2</sup>

Eunmi Gwon<sup>1\*</sup> · Seokjin Oh<sup>1</sup> · Seongju Cho<sup>1</sup> · Sengchul Lee<sup>2</sup> · Sungryong Ha<sup>2</sup> · Cheahoan Lim<sup>3</sup> · Jihoon Park<sup>3</sup> · Seon-Hong Kang<sup>3</sup>

1 신강하이텍(주), 2 충북대학교 도시공학과, 3 광운대 환경공학과

(2010년 9월 30일 접수 ; 2010년 10월 12일 수정 ; 2010년 10월 14일 채택)

#### Abstract

To evaluate the performance of high rate coagulation system(HRCS) for CSOs treatment, fundamental function of lab scale HRCS has been tested by using the Jar tester and lab scale HRCS.

The optimum pH dose by Streaming Current value was found in the range of 5.3 ~ 6.0 in Fe(III), and in the range of 5.8 ~ 6.6 in Al(III) and the optimum chemical dose were 0.44mM of  $Al_2(SO_4)_3$  and 0.93mM of  $FeCl_3$ . The removal efficiencies at optimum  $Al_2(SO_4)_3$  dose were 75%(TCOD<sub>Cr</sub>), 97%(TP), 95%(SS) and 96%(turbidity), respectively. And the removal efficiency of particles with less than 5 $\mu$ m of diameter was 70% and that of particles with higher than 5 $\mu$ m of diameter was 90%.

The optimum alum dose in lab scale HRCS was 150mg/L, and the treatment efficiency was the best with addition of 1.0mg/L polymer. The effect of Micro sand addition was not clear, because the depth of the sediment tank in lab scale HRCS was not long enough. But the HRT of this lab scale HRCS was able to be shorten less then 7 minutes by adding the micro sand. The surface loading rates with respect to using different chemicals were 0.43m/h with alum only, 5.78m/h with alum and polymer and 6.22m/h with alum, polymer and micro sand.

As a result, HRCS using coagulant, polymer and micro sand developed in this study was evaluated to be very effective for CSOs treatment.

**Key words** : High Rate Coagulation System, CSOs, Micro-Sand, Surface loading rate

**주제어** : 고속응집시스템, 강우유출수, 기중응집제, 표면부하율

#### 1. 서론

정부의 4대강 물관리 종합대책에 의하면 수계 전체 오염원 중 비점오염원이 차지하고 있는 비율이 22~37%로 추

정되고 있고, 2015년에는 기여도가 65~70% 수준이 될 것으로 환경부는 예측하고 있다. 이는 비점오염물질이 주요 수질 오염원이며, 이에 대한 대책 없이는 수질개선을 기대하기란 어렵다는 의미이다.

\* Corresponding author Tel:+82-10-5296-4407, Fax:+82-31-391-3271, E-mail: emgwon@daum.net(Gwon, E.)

특히 도시지역은 주거지역, 상업지역, 공공지역, 산업지역, 도로 등과 같은 포장지역으로 인하여 높은 포장율을 나타내고 있어 수리학적으로는 유량의 증가, 침투유량의 증가, 침투유량 기간 증가, 기저유량의 감소, sediment 부하량 변화, 홍수유발, 하천침식, 수로확장 및 수로바닥의 변화 등을 야기시킨다. 또한 건기시 많은 차량의 운행과 인간의 활동에 의하여 다량의 입자상 물질, 중금속, 각종 유기화합물 등 물질 등의 축적이 높으며, 강우시 단기간에 집중적으로 유출되어 하천수계에 위해를 끼치게 된다. 특히 높은 포장율은 높은 강우유출율과 더불어 최대유출율을 증가시키며, 최대유출율이 발생하는 침투시간을 앞당기게 되어 집중호우시 심각한 도시홍수의 원인으로 작용하기도 한다(환경정책평가원, 2008). 도시지역에서는 다양한 인간의 활동과 높은 포장율에 의해 강우초기에 고농도의 오염물질이 포함된 초기강우수 유출 현상(first flush effect)이 발생한다. 이 초기강우에는 강우시 유출되는 오염물질의 대부분이 포함되어 있으며 미처리된 채로 하천으로 방류될 경우 하천수질 및 생태계에 미치는 영향이 매우 크다(수생태복원 사업단, 2009).

비점오염원은 불확실성(uncertainty)이 매우 높은 오염원으로 강우지속시간, 강우유출수 부피, 강우강도, 강우전 건조일수, 이전 강우특성 등에 따라 유출특성이나 오염물질의 농도가 다르다. 강우유출수에 포함된 주요한 오염물질로는 총부유물, 질소, 인, BOD<sub>5</sub>, COD, 철, 아연, 납, 구리, 오일과 그리스 등이 있다.

도시지역에서 발생하는 강우유출수가 하천으로 유입되는 경로는 주로 하수관거의 중간에 설치된 우수토실유출(Combined Sewer Overflows)과 하수처리장침사지에서 월류되는 것이다. 합류식 또는 분류식 하수관거의 우수토실에서 발생하는 월류수는 개별적인 수량은 작은 반면 도시 전지역에 산재해 있으며, 하수처리장 1차 침전지에서 발생하는 월류수는 한 두 곳에서 발생하지만 유량이 매우 커서 하천에 배출되는 부하량이 집중적으로 발생하는 특성을 가지고 있다. 이러한 배출오염 부하를 저감시키기 위해서는 월류수 유량변화에 매우 신속하게 대처할 수 있는 오염물질 처리시스템의 개발이 필요하다.

유럽등지에서는 다량의 폐수를 신속하게 처리하는 공정으로 ACTIFLO 또는 DENSADEG 등이 개발되어 있으며, 이 공정들은 응집제와 가중응집제를 동시에 투입하여 침전속도를 향상시킨다는 특징을 가지고 있다. 그러나 이 공정들에서 사용되는 가중응집제가 시스템에서 재순환되면서 펌프와 배관을 마모 시킨다는 단점을 가지고 있기도 하다(박세진 등 2002).

본 연구에서는 하수처리장에서 강우시 발생하는 설계용

량 이상의 월류수를 신속하게 처리할 수 있는 방법으로 단일 반응조내에서 응집, 혼화, 침전이 이루어지며 매우 짧은 체류시간만으로도 오염물질이 처리될 수 있는 공정을 개발하였다. 이 공정은 급속혼화효과를 극대화 할 수 있는 구조의 라인믹서와 완속교반조와 급속교반조중간에 난류의 형성을 최소화 하기 위한 배플이 설치되어 있어 침전속도를 최대화 시킨 공정이다. 이 공정의 적용을 위한 설계 및 운전인자의 도출을 위해서 Jar-Test와 실험실 규모의 장치를 대상으로 응집제의 종류와 주입조건, 수리학적 체류시간에 따른 처리효율을 측정하였다. 이 결과를 기존응집공정과 비교하여 새롭게 개발된 장치의 우수성을 밝히고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 Jar Test

#### 2.1.1 실험장치

응집제의 선정과 적정주입량 결정, 응집보조제의 종류 및 주입량, 최적 pH, 급속혼화 시간 및 혼화강도 결정 등을 위해서 Jar-test를 실시하였다. 실험에 사용된 Jar는 장방형 모양의 Phipps & Bird사의 제품을 이용하였고, 규격은 11.5cm × 11.5cm × 21cm(W × L × H)였으며 유효용량은 2L였다. 수면으로부터 10cm 아래의 밸브를 설치하여 시료를 채취할 수 있도록 하였다. Jar-test에 사용된 임펠러의 규격은 7.62cm × 2.54cm(W × L) 이었고, 응집제 주입과 동시에 180 rpm( $G = 200 \text{ S}^{-1}$ )에서 1분간 급속교반, 45 rpm( $G = 20 \text{ S}^{-1}$ )에서 15분간 완속교반 후에 30분간 침전시켰고 수질분석을 위해 상정수를 채취하였다.

응집실험에 사용된 응집제는 일반적으로 많이 사용되고 있는 알루미늄계 응집제인 Alum ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{ H}_2\text{O}$ )과 철염계인 염화제2철( $\text{FeCl}_3$ )을 사용하여 실험하였으며, 1g/L stock solution을 제조하여 사용하였다.

#### 2.1.2 실험 대상원수

본 연구에서는 CSOs를 비롯한 원수의 수질특성을 분석하기 위하여 하수처리장의 1차 침전지를 거친 도시하수를 사용하였다. 본 연구에서 실시된 수질 분석은 수질오염공정시험법 및 U.S Standard methods에 따라 pH, Turbidity, COD<sub>Cr</sub> S-COD<sub>Cr</sub>, SS, TN, TP를 분석 하였으며, pH는 pH/ISE Meter(Model 735P, Istek Co.)를 이용하여 측정하였다.

#### 2.1.3 실험방법

응집제 종류별 적정응집 pH를 결정하기 위해 응집제 주입량을 고정시키고, pH 변화에 따른 Streaming Current값

을 측정하여, pH에 따른 응집 플록의 표면전위값의 변화를 관찰하였다. 또한, pH를 고정하고 응집제 주입량에 따라 Streaming Current값을 측정하여 하전된 콜로이드입자를 전기적으로 중화시키기 위한 응집제 주입량을 관찰하였다. 응집제 주입량을 결정하기 위해서 Streaming Current값이 0을 지나는 최적응집 pH범위의 평균값을 최적의 pH로 하고, 그 값을 고정시켜 응집제의 주입량을 달리하면서 Streaming Current값이 0을 지나는 등전점을 찾는 방법으로 응집제 주입량을 결정하였다. 마지막으로 앞에서 결정된 pH 범위와 응집제 주입량 결과를 바탕으로 Jar-test를 수행하여 각각의 상징수를 채취한 후, Turbidity, TCODcr, SS, TN, TP 등의 항목을 분석하였다. 또한 최적응집조건에서의 실질적인 현탁물질과 콜로이드성 물질의 제거 거동을 관찰하기 위해서 Particle Counter를 이용하여 입도분포에 따른 입자의 개수를 측정하여 제거율을 나타내었다.

## 2.2 고속응집침전시스템 모형을 이용한 성능평가

### 2.2.1 실험장치

고속응집침전시스템은 Fig. 1과 같이 인라인 믹서, 완속교반조, 침전조로 구성되어 있다. Inline Mixer에서는 급속교반을 수행하였으며, 완속교반조의 교반강도는  $200\text{sec}^{-1}$ 로 수행하였다. 완속교반조의 구성은  $20\text{cm} \times 18.7\text{cm} \times 22\text{cm}$ (W × L × H)로 유효용적이 8.23L이며, 침전지의 구성은  $26.2\text{cm} \times 23.5\text{cm} \times 12.5\text{cm}$ (W × L × H)와 깊이 20cm의 슬러지 수집조로 구성되어 총 유효 용량은 11.8L이다. 인라인 믹서의 내부 돌기는 물이 진행되는 방향의 수직방향에 마름모 모양의 돌기가 교차하며 설치되어

있어 물이 수로를 따라 진행하면서 혼화와 분리가 반복적으로 수행되어 혼화효과를 최대화 시킨 구조이다. 또한 마름모 모양의 돌기구조로 인하여 물의 진행에 방해를 최소화하여 수두손실을 최소화 한 구조이다.

또한 침전지에는 경사 60도의 상향류식 경사판을 설치하여 침전효율을 높였으며, 각 반응조 사이에는 난류의 형성을 최소화하기위한 목적으로 배플을 설치하였다.

### 2.2.2 실험조건

응집제는 Alum, PACl, HiB-PAHCS의 세 가지 응집제를 사용하였고, 응집보조제로는 Polymer와 Micro-sand (MS)를 사용하였다. 먼저 주 응집제를 inline mixer 전에 주입하고, 폴리머와 MS를 급속교반조에 시차를 두고 주입하면서 적정 약품 주입량을 산정하고 각 조건에서의 오염물질 제거특성을 분석하였다.

고속응집시스템공정의 최적 조건을 결정하기 위하여 각 응집제의 주입량(Alum: 50~300mg/L, 폴리머 0.5mg/L~1mg/L)과 HRT(5~30min)를 변화시켜 가며 오염물질 제거효율을 비교 분석하였다. 상세한 운전조건은 다음 Table 1과 같다. 시료는 원수와 응집제가 유입되기 시작하여 안정화가 된 후 5분 간격으로 채취하여 분석하였다.

Streaming Current 값은 Coagulant Charge Analyzer(CCA 3100, Chemtrac)를 사용하여 분석하였으며, 입도분포에 따른 직경별 입자개수의 분석에는 Particle Counter (Melvern Instruments UK/Spraytech, 측정범위 : 0.5~25 $\mu\text{m}$ )를 사용하였고, 일반 항목은 원수와 동일한 방법으로 측정하였다.

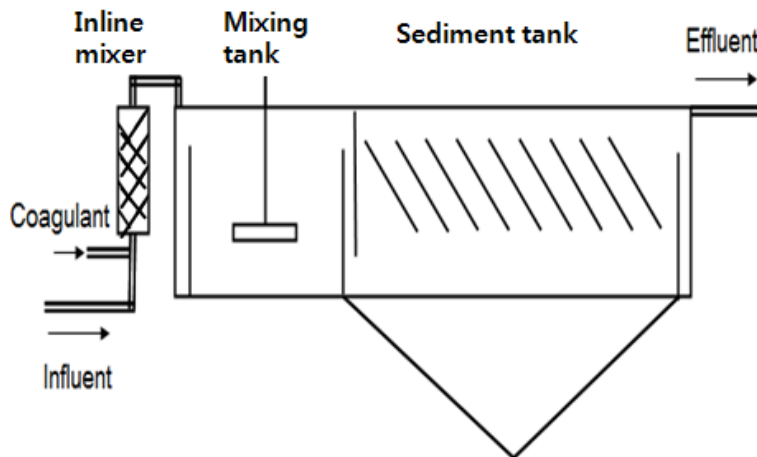


Fig.1 Schematic diagram of high rate coagulation system

Table 1 Test Conditions of High Rate Coagulation System

Coagulants	Alum, PACl, HiB-PAHCS
Coagulant Aids	Polymer, Micro-Sand
Coagulants Dosage(mg/L)	50 ~ 300
Polymer Dosage(mg/L)	0.5 ~ 1
HRT(Min)	5 ~ 30
G Value(sec-1)	200
Parameters	Turbidity, COD, SS, T-N, T-P,

Table 2 Water Quality of Sewage Water for Jar-Test

Parameters	water quality
pH	7.35 ~ 7.39
Turbidity (NTU)	48 ~ 62
SS(mg/L)	90 ~ 110
TCOD <sub>cr</sub> (mg/L)	221 ~ 241
SCOD <sub>cr</sub> (mg/L)	41 ~ 53
T-N(mg/L)	26.2 ~ 26.5
T-P (mg/L)	1.71 ~ 1.77

### 3. 실험결과

#### 3.1 Jar-test

##### 3.1.1 원수의 수질현황

실험에 사용된 원수의 수질은 다음 Table 2와 같다. 항목별 오염도를 보면 pH 7.35 ~ 7.39, 탁도 48NTU ~ 62NTU, TCOD<sub>cr</sub> 221mg/L~241mg/L, T-N 26.2mg/L ~ 26.5mg/L, T-P 1.71mg/L~1.77mg/L로 탁도를 제외한 전 항목의 수질이 전형적인 하수처리장 수질과 유사하게 나타났다.

##### 3.1.2 최적응집 pH결정

Fig.2는 황산알루미늄과 염화제이철 투입율과 pH에 따른 Streaming Current값을 측정한 것이다. 등전점은 입자의 Zeta-Potential값이 0(PZC, point of zero charge)가 되어 수중의 콜로이드성 입자가 서로 반발하지 않고 서로 응집될 수 있는 pH를 의미한다. Al(III)의 경우 등전점은 응집제 투입량 0.585mM일 경우 pH 4.0와 6.2에서 발생하고 있으며, 응집제 투입량이 0.292mM 이하에서는 등전점

이 발생하지 않는다. 즉, 하수의 응집을 위한 최소의 응집제 투입량은 0.292mM이고, 그때의 등전점은 각각 pH 4.5와 5.8에서 발생한다. 두 개의 등전점 중에서 pH가 낮은 점에서는 응집입자의 생성속도가 늦어 활용하기 어렵기 때문에 pH가 큰 등전점을 응집 pH로 설정하는데, 응집제 투입량에 따라 등전점은 pH 5.8~6.6 범위에서 생성되고 있는 것으로 나타났다.

Fe(III)의 경우에는 등전점이 하나만 생성되었으며, pH 5.3~6.0 범위에서 발생하고 있다. 등전점으로만 평가할 때 Fe(III)을 사용한 경우 적정 pH 범위가 Al(III)보다 약간 낮은 것으로 나타났다. Al(III) 응집제 계열의 적정 pH 범위는 5.8~6.6로 나타났으며, 이것은 상수처리공정에서 최적의 응집조건이라고 알려진 pH(7.0~8.0)보다 낮게 나타나 Jar test를 통한 검증이 필요할 것으로 생각된다.

3.1.3 응집제 투입량에 따른 Streaming Current 값 변화  
Fig.3은 황산알루미늄과 염화제이철의 pH를 각각 6.2와 5.8로 고정시킨 상태에서 각각의 응집제 투입량을 달리하여 측정한 Streaming Current값을 나타낸 것이다. 황산알

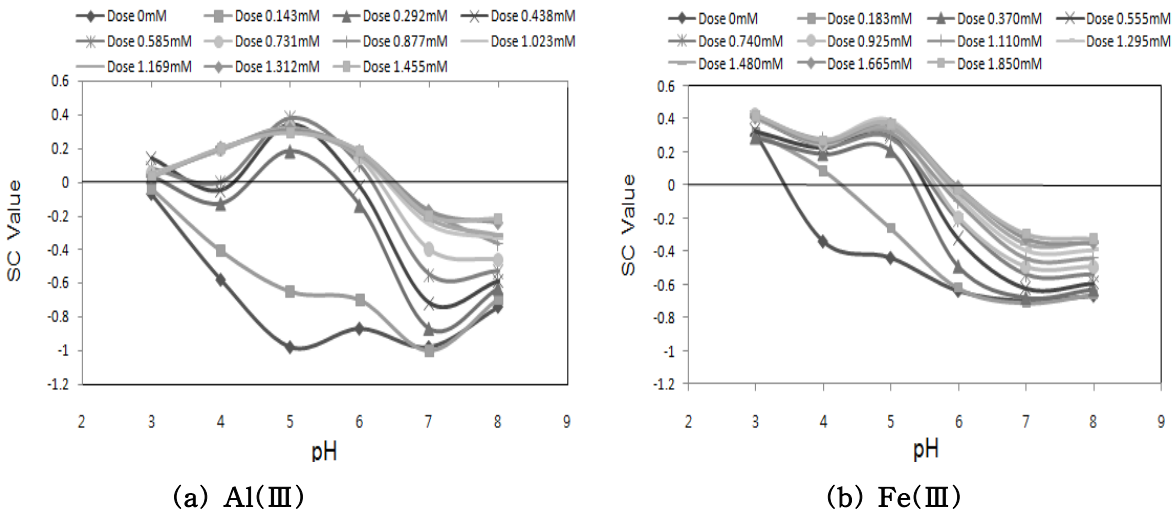


Fig. 2 The Change of Streaming Current Value with respect to coagulants dose

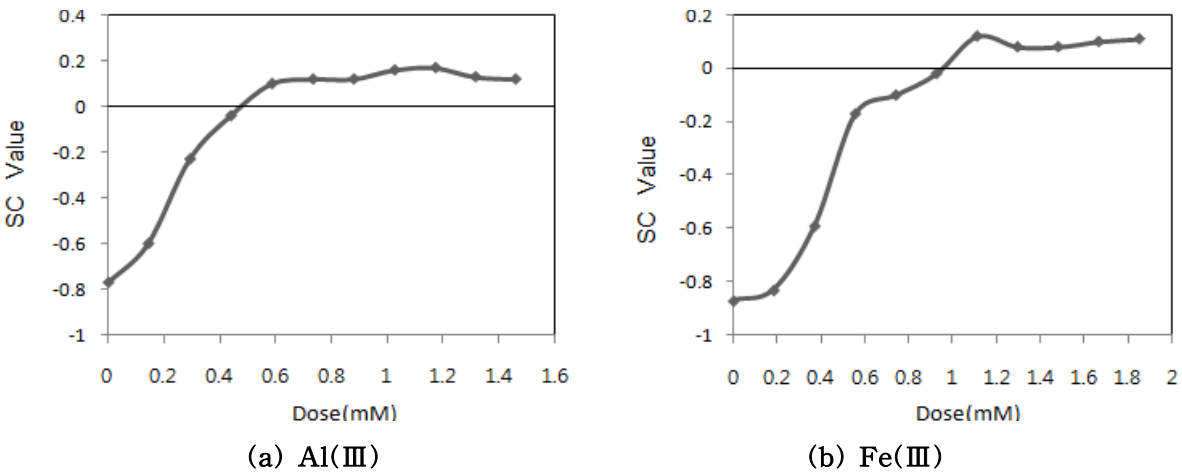


Fig. 3 The Change of Streaming Current Value with respect to Coagulants Dose

루미늄의 경우 pH 6.2에서 주입량이 0.44 mM일 때 등전점을 지났고, 염화제이철의 경우 pH 5.8에서 주입량이 0.93 mM일 때 등전점을 지났다. 등전점에 도달하기 위한 응집제 주입량을 비교해 볼 때, 알루미늄계 응집제의 전하중화능력이 철염계 응집제 보다 약 2배 이상 더 크다는 것을 알 수 있다. 등전점을 지나는 최적주입량에서 그 이상의 응집제를 주입하여도 Streaming Current 값이 더 이상 증가하지 않고 일정한 범위 내에서 머무르는 것을 알 수 있다. 이는 응집제 주입량이 증가되어도 최적 주입량의 조건 이상에서 생성된 응집 플록의 표면전위값이 더 이상 증가되지 않기 때문이며, 플록의 표면전위가 pH에 따라 결정된다는 것을 말해 주고 있다.

### 3.1.4 최적 응집조건에서의 응집효율

황산알루미늄의 경우 주입량 0.29mM ~ 1.02 mM 범위에서 TCODcr, TP, SS, Turbidity의 제거율이 각각 75, 97, 95, 96% 정도로 나타났다. 염화제이철의 경우는 주입량 0.56mM ~ 1.48 mM 범위에서 TCODcr, TP, SS, Turbidity의 제거율이 각각 74%, 96%, 98%, 99% 정도로 나타났다. TN의 제거효율은 황산알루미늄을 이용하였을 경우 각각 10%, 염화제이철을 주입하였을 경우 15%로 나타났다(Table 3). 실제 등전점을 지나는 주입량으로부터 그 이상이 주입이 되어도 제거효율에는 큰 변화가 없을 것을 알 수 있다. 이는 실제로 운영되는 응집영역은 PZC보다 응집제의 주입량이 큰 영역에서 형성되며, 이를 최적의 응집구역이라고 정의하는 Amirtharajah와 O'Melia(1990)의 연구결과와 일치하였다.

Table 3 Removal Efficiency of Pollutants in Optimum Condition by Jar test

Parameter		Al(III)						Fe(III)					
Coag.	mM	0.29	0.44	0.59	0.73	0.88	1.02	0.56	0.74	0.93	1.11	1.29	1.48
Dose	mg/L	100	150	200	250	300	350	150	200	250	300	350	400
Rem. eff. (%)	TCODcr	70	76	72	77	72	77	74	74	74	73	76	74
	SCODcr	47	50	53	45	41	49	45	40	35	43	45	53
	SS	97	95	95	95	94	95	97	98	97	98	98	99
	VS	90	87	76	76	70	76	84	87	81	84	81	84
	TN	13	8	10	8	8	9	41	6	16	11	11	14
	Inorg-p	99	99	96	99	99	99	99	99	99	99	99	99
	Org-p	96	98	98	97	98	98	92	92	96	95	94	94
Turb	97	96	96	97	96	97	98	99	99	99	98	99	

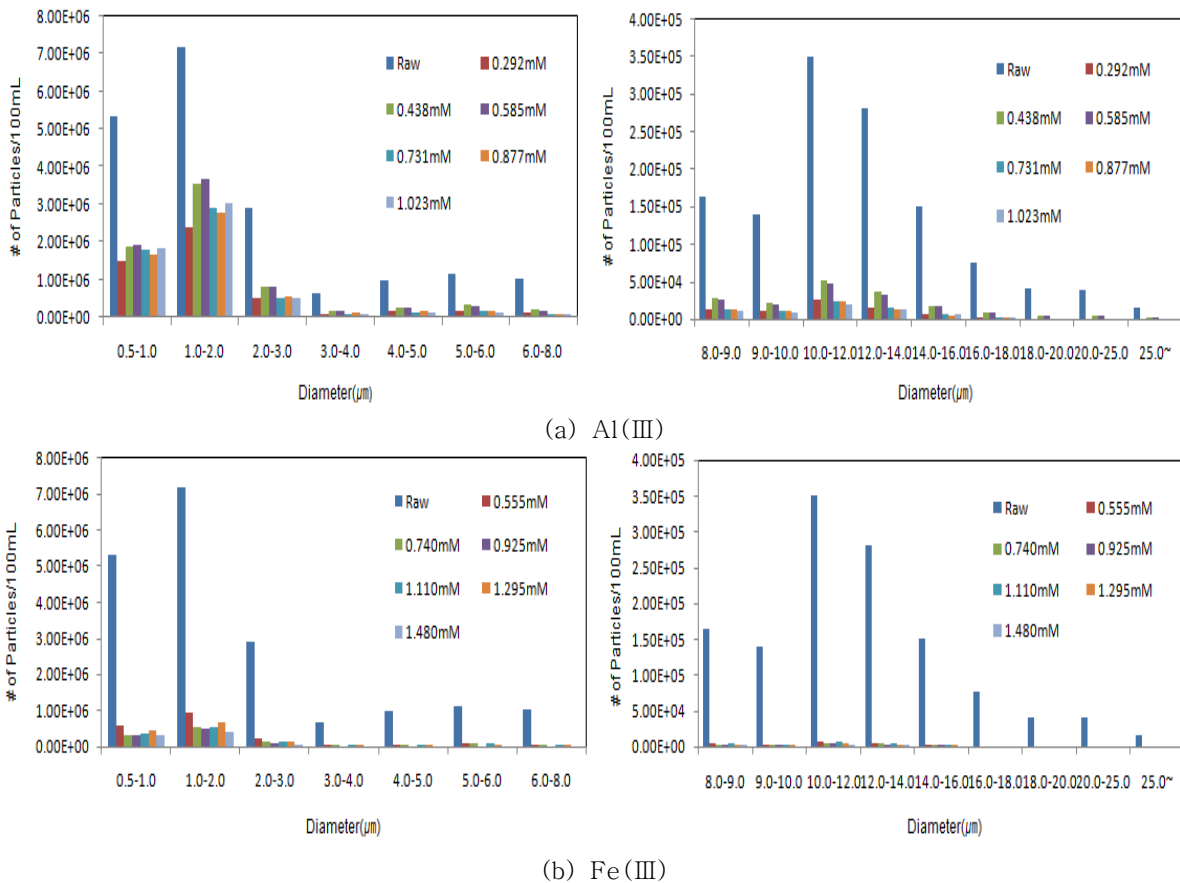


Fig. 4. The Number of Particles to Particle distribution at Optimum Test Condition

3.1.5 최적응집조건에서의 입자제거 특성분석

최적응집조건에서 황산알루미늄의 경우 직경 5 $\mu$ m이하의 입자제거율은 약 70%, 직경 5 $\mu$ m이상의 입자제거율은 약 90%정도로 나타났으며, 염화제이철의 경우는 모든 입자분포에서 90%이상의 제거효율을 나타냈다. 이는 Fe(III)계

응집제는 Al(III)계 응집제와 비교하여 일반적으로 pH범위가 넓고 유기물제거와 입자제거에 효율적이기 때문이다(황보봉형 등, 1997; Corez et al.,1995). 또한, 황산알루미늄이 염화제이철에 비해 응집시 형성된 flocc의 크기가 작고 그 무게 또한 가볍기 때문에 입도가 작은 입자들의 제거에

효율이 떨어지고 침전과정에서 염화제이철보다 낮은 침전 효율을 나타낸다는 선행연구결과(황보봉형 등, 1997)와 일치하였다(Fig.4). 따라서 고속응집 침전 시스템 모형을 이용한 성능평가에는 Al 계 응집제를 대상으로 실험을 수행하였다.

### 3.2 고속응집침전시스템 모형을 이용한 성능평가

#### 3.2.1 최적 응집제 주입량

Alum의 주입량이 150mg/L에서 최적주입량을 나타냈으며, 그 이상의 주입량에서는 Turbidity와 SS가 증가하는 결과를 나타냈다. 이는 응집제가 과잉으로 주입되어 전하역전으로 인한 재탁 현상이 일어난 것으로 사료된다. Fig. 5는 반응조가 안정이 된 후 5분 간격으로 Turbidity와 SS를 분석한 결과의 평균값을 도출하여 나타낸 것이다.

#### 3.2.2 최적 HRT의 결정

Fig. 6은 반응조가 안정이 된 후 5분 간격으로 Turbidity와 SS를 분석한 결과를 나타낸 것이며, 평균값을 도출하여 그림에 나타내었다. HRT가 20min부터 안정적인 Turbidity와 SS의 제거효율을 나타냈으며, 20min이하에서는 너무 낮은 HRT로 인하여 충분한 반응시간이 확보되지 못하였기 때문에 Turbidity와 SS의 제거가 효과적으로 이루어지지 못하였다.

#### 3.2.3 응집제 종류에 따른 효율평가

PACl과 HiB-PAHCS의 주입량의 경우 150mg/L Alum 농도에서  $Al^{3+}$ 의 농도를 계산하고 PACl과 HiB-PAHCS의  $Al^{3+}$ 농도를 같은 농도의 주입량으로 결정하여 실험을 수행하였다. 최적 조건에서 세 응집제 모두 Turbidity, SS,

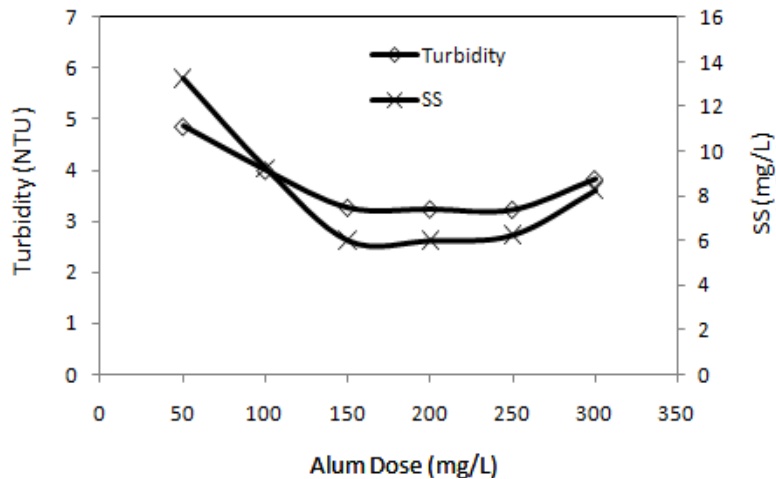


Fig. 5 The Change of Turbidity and SS with respect to Alum dose

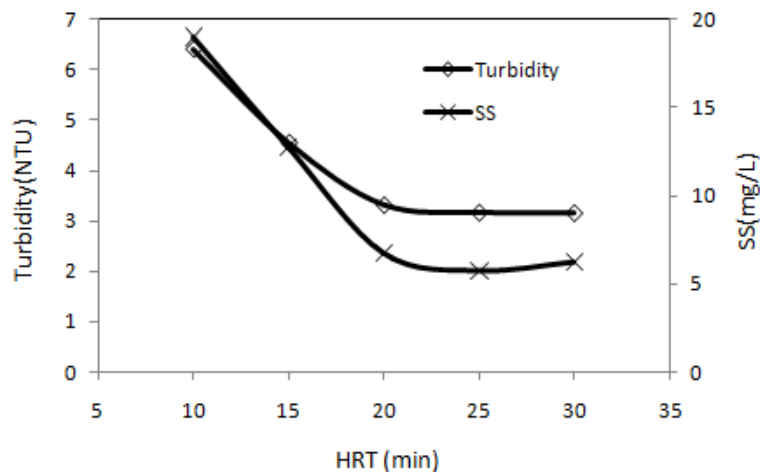


Fig. 6. The Change of Turbidity and SS with respect to HRT

T-P의 제거는 90%이상으로 높은 제거 효율을 나타냈으며, T-N은 20~25%의 제거효율을 나타내었다. TCODcr과 SCODcr은 각각 80~85%, 53~56%의 제거효율을 나타내었다. 응집제별 제거효율은 모든 인자에서 HiB-PAHCS, Alum, PACI순으로 나타났으며, 그 중 HiB-PAHCS의 응집 효율이 비교적 우수한 것으로 나타났다(Fig. 7, Table 4).

### 3.2.4 폴리머와 가중응집제의 최적주입량

Micro-sand의 최적주입량을 결정하기 위하여 우선적으로 Polymer의 주입을 검토하였다. 플록의 크기 및 밀도의 증가는 플록의 침강속도에 영향을 미치게 되므로 초고속응집침전시스템의 개발을 위하여 우선적으로 Polymer의 적정 주입량 실험을 수행하였다. 실험결과를 그림으로 나타낸 결과, Polymer를 응집제에 추가하여 0.8 mg/L까지 증가

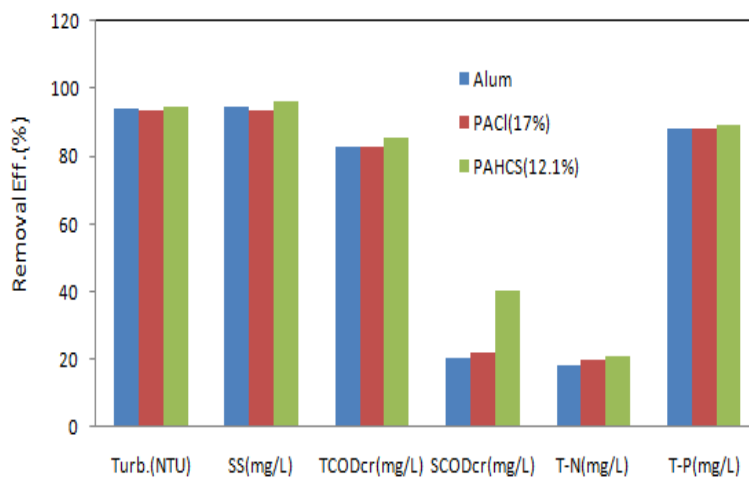


Fig. 7 Average Removal Efficiency of Pollutants in Different Coagulant

Table. 4 Removal Efficiency of Pollutants with Respect to Settling Time at Optimum Dose

Coagulant	Parameter	Sample Time(min)							Ave.	Rem Eff. (%)
		5	10	15	20	25	30	35		
Alum	Turb.(NTU)	3.5	3.4	3.4	3.3	3.2	3.2	3.2	3.33	93.9
	SS(mg/L)	6	6	6	6	4	4	4	5.14	94.9
	TCODcr(mg/L)	46	41	39	39	41	36	36	49.8	82.9
	SCODcr(mg/L)	41	41	36	36	36	34	34	37	20.1
	T-N(mg/L)	23	22	21	21	21	21	21	21.5	18.3
	T-P(mg/L)	0.21	0.22	0.22	0.20	0.22	0.20	0.19	0.21	88.1
PACI	Turb.(NTU)	3.7	3.7	3.5	3.7	3.5	3.5	3.5	3.58	93.4
	SS(mg/L)	6	8	6	8	6	6	6	6.57	93.4
	TCODcr(mg/L)	46	49	39	41	36	36	36	40.3	82.6
	SCODcr(mg/L)	41	41	41	36	31	31	31	36	21.7
	T-N(mg/L)	22	22	22	21	21	20	21	21.2	19.7
	T-P(mg/L)	0.22	0.20	0.25	0.20	0.19	0.20	0.20	0.21	88.1
HiB-PAHCS	Turb.(NTU)	2.9	2.9	3.0	2.9	2.7	2.8	2.7	2.83	94.9
	SS(mg/L)	4	4	4	4	2	4	4	3.71	96.3
	TCODcr(mg/L)	34	36	36	34	31	31	34	33.5	85.5
	SCODcr(mg/L)	29	29	31	26	26	26	26	27.4	40.4
	T-N(mg/L)	21	22	21	21	21	20	20	20.9	20.7
	T-P(mg/L)	0.20	0.19	0.18	0.17	0.18	0.17	0.18	0.18	89.4



하여 주입할 경우에 탁도의 감소효과가 크게 나타났으나, 0.8mg/L를 초과하여 주입할 경우에는 Polymer가 응집효율에 영향을 주는 효과가 미미하게 나타났다(Fig.8).

Micro-sand는 응집 플록에 달라 붙어서 플록의 무게를 증가시켜 침전효율을 향상시키는 역할을 한다. 따라서 고속 응집시스템의 효율을 결정하는 중요한 역할을 할 것으로 기대하였다. 실험결과, 최적의 응집제 주입량과 Polymer주입량에서 Micro-sand를 추가하여도 응집효율에 미치는 영향은 미미한 것으로 나타났다(Fig.9).

3.2.5 가중응집제 주입에 따른 침전조의 표면부하율  
침전조의 주요 설계인자는 표면부하율(Surface Loading Rate)로 일반적으로 침전지 설계는 입자의 침전 속도가 표면부하율보다 크도록 설계되어야 한다. 따라서 침전지의 설계 및 침전조에서의 체류시간(HRT)를 최소한으로 줄일 수 있는 방안을 모색하고자 응집제 및 가중응집제의 주입에 따라 90%의 탁도 제거를 위한 표면부하율을 산정하였다.

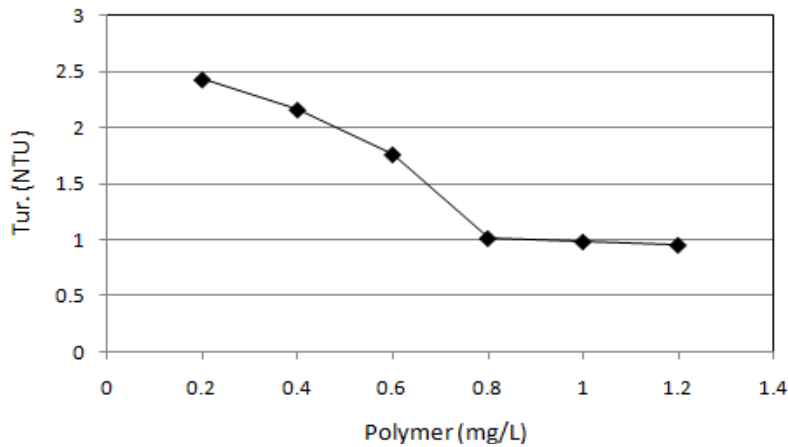


Fig. 8 The Change of Turbidity to Polymer Dose

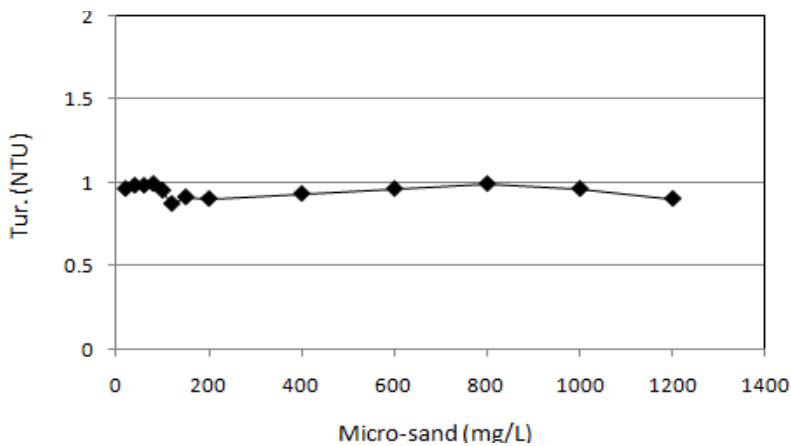


Fig. 9 The Change of Turbidity at Different Micro-sand Dose

Table 5 The Change of Surface Loading Rate at Different Chemical Injection

Chemicals	Surface Loading Rate (m/hr)
Coagulant	0.43
Coagulant+Polymer	5.78
Coagulant+Polymer+M.S	6.22

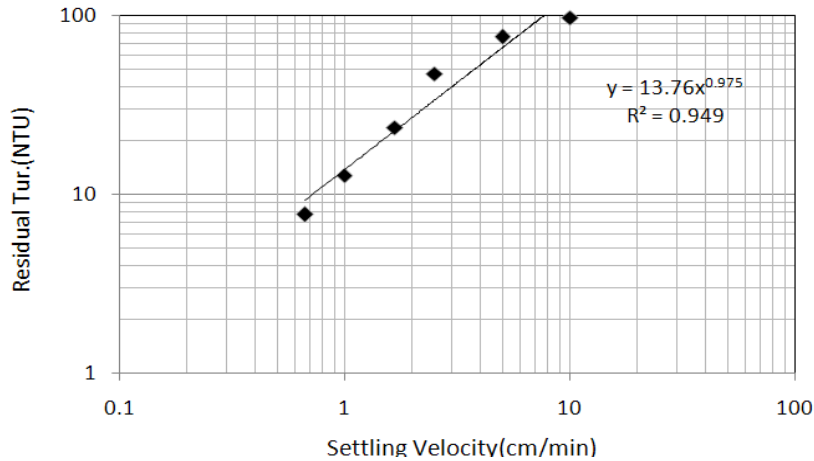


Fig.10 The Relation between Turbidity and Settling velocity only by Coagulant Injection

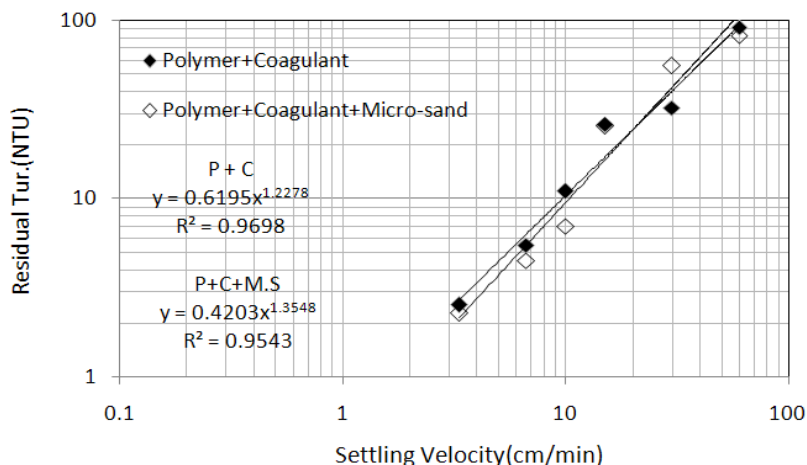


Fig.11 The Relation between Turbidity and Settling velocity by Coagulant, Polymer and Micro sand Injection

표면부하율을 산정하기 위해 수행된 실험결과는 아래 Fig.10과 Fig. 11에서 보여지는 바와 같으며, 각각의 조건에 따른 표면부하율 산정결과는 Table 5와 같다. 응집제에 Polymer와 가중응집제인 Micro-sand를 적정량 주입할 경우, 표면부하율이 6.22 m/hr이었으며, 이 값은 앞서 입자의 침전속도와 비교할 경우에 입자의 침전속도가 표면부하율보다 큰 조건이 만족되었다.

## 5. 결론

본 연구에서는 강우시 집중적으로 발생하는 하수처리장 1차 침전지 월류수를 신속하게 처리하기 위한 시스템으로 고속응집시스템을 개발하였으며, 이 장치의 적용성을 평가하기 위한 기초연구로서 Jar-test와 실험실장치를 이용한

실험을 진행하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1. 최적의 pH조건을 찾기 위해 Streaming Current 값을 측정된 결과 Fe(III)의 경우에는 pH 5.3~6.0 이 최적의 응집조건이었으며 Al(III) 응집제 계열의 적정 pH 범위는 5.8~6.6 로 나타났다. Alum의 경우 상수처리공정에서 최적의 응집조건이라고 알려진 pH(7.0~8.0)보다 낮게 나타나 Jar test를 통한 검증이 필요할 것으로 생각된다.
2. 황산알루미늄의 경우 0.44mM 범위에서 Streaming Current 값이 0을 나타내었고, 후속된 Jar-test 실험 후 0.29mM ~ 1.02 mM 범위에서 TCODcr, TP, SS, Turbidity의 제거율이 각각 75, 97, 95, 96%정도로 나타났다. 염화제이철의 경우는 0.93 mM 범위에서 Streaming Current 값이 0을 나타내었으며, Jar-test 실험 후 0.56

~ 1.48 mM 범위에서 TCODcr, TP, SS, Turbidity의 제거율이 각각 74, 96, 98, 99%정도로 나타났다. 최적응집조건에서 황산알루미늄의 경우 직경 5 $\mu$ m이하의 입자제거율은 약 70%, 직경 5 $\mu$ m이상의 입자제거율은 약 90%정도로 나타났으며, 염화제이철의 경우는 모든 입자분포에서 90%이상의 제거효율을 나타냈다.

**3.** 실험실 규모 고속응집침전장치를 이용하여 측정된 최적약품주입량은 Alum 150mg/L 였으며 폴리머는 0.8mg/L으로 나타났다. Micro Sand를 주입했을 경우 실질적인 침전속도향상효과가 관찰되지 않았으나 이것은 실험에 사용된 침전조의 깊이가 충분히 깊지 않았기 때문으로 생각되며, 실제 규모의 시설에서는 효과를 볼 수 있을 것으로 생각된다.

**4.** 고속응집침전시스템의 처리효율을 결정하는 표면부하율을 계산한 결과 응집제만을 주입했을 때는 0.43m/h, 응집제와 폴리머를 주입했을 때는 5.78m/h, 응집제와 폴리머, Micro sand를 주입했을 때는 6.22m/h로 나타나 폴리머와 가중응집제를 사용했을 경우 표면부하율을 크게 높일 수 있는 것으로 나타났다.

이상의 결과로 보아 본 연구에서 개발된 고속응집 시스템은 응집제, 폴리머와 가중응집제를 사용할 경우 표면부하율을 크게 높일 수 있을 것으로 나타나 그 적용성이 매우 높을 것으로 평가된다.

## 사 사

본 연구는 수생태계 복원사업단의 연구비 지원으로 얻어진 논문이기에 이에 감사드립니다.

## 6. 참고문헌

- 박세진, 김창균, 윤태일(2002), 가중응집제와 슬러지 반송을 통한 고속응집공정에 관한 연구, *대한환경공학회지*, **24** (8), pp 1324 ~1338.
- 수생태복원 사업단(2009), *효율적 비점오염원 관리기술개발 연구 보고서(2단계 2차년도)*, 연구보고서.
- 환경부(2008), *한강수계 비점오염저감시설 모니터링 및 유지관리 2차년도보고서*, 연구보고서
- 황보봉형, 김정숙, 이병현, 강임석(1997), 산업 폐수(물리화학적 처리 I) : 낙동강 원수내 Al(III)계 염과 Fe(III)계 염의 응집제를 이용한 유기물 응집에 관한연구, *대한환경공학회 춘계 학술연구발표회논문집*, pp. 329-332.
- Amirtharajah. A. and O'Melia. C. R.(1990), "Coagulation process: Destabilization, mixing, and flocculation", Chapter 6, In Water Quality and Treatment, 2nd ed., pontius. F. W., New York : McGraw-Hill, pp. 269-365.
- APHA(1995), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19th edition.
- Crozes. G., White, P. and Marshall, M.(1995), Enhanced coagulation : its effect on NOM removal and chemical costs. *J. AWWA*, **87**(1), pp. 78-95.
- Roberts C. Cheng, stuart W. Krasner, James F. Green, and kevin L. waiter. (1995) Enhanced coagulation a preliminary evaluation. *J. AWWA*, **87**(2), pp. 91-103.
- Tang H. and Stumm W.(1987), "The Coagulating Behaviors of Fe(III) Polymeric Species I. *Water Research*, **21**(1), pp.115 - 128.