

# 수자원 확보를 위한 URC공법의 적용 I : 유기물, 중금속, 영양염의 제거특성에 관한 연구

박세진<sup>1</sup>, 윤태일<sup>1</sup>, 김재형<sup>2</sup>, 조경철<sup>1</sup>

1

인하대학교 환경공학과 수처리 연구실, <sup>2</sup>국립환경연구원 폐기물연구부

## Application of Ultra Rapid Coagulation for Securing Water Resource II : Study of organics, metals, and nutrients removal

Se Jin Park<sup>1</sup>, Tai Il Yoon<sup>1</sup>, Jae Hyung Kim<sup>2</sup>, and Kyung Chul Cho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Environmental Engineering, Inha University, Korea

<sup>2</sup>Dept. of Waste Research, National Institute of Environment Research, Korea

### 요 약

초고속응집침전공정(URC)은 가중응집제(WCA)를 첨가하고 슬러지를 반송시켜 응결핵으로서의 역할을 수행시킴으로서 floc의 성장속도를 향상시키고, 입자표면의 흡착을 활성화하여 유기물, 중금속, 인 등 수중에 존재하는 오염물을 보다 효율적으로 제거하며, 기존의 응집 공정에 비하여 침전성을 향상시킬 수 있다. 현재까지 하수처리장과 하천, 호소에서 수행된 URC pilot-test와 Jar-test의 결과를 비교 검토하여 가중 응집제와 반송 슬러지에 대한 오염물 제거특성에 대한 연구가 수행되었으며, 수자원의 재이용을 위한 가능성을 평가하였다.

**Abstract** : A physicochemical process called Ultra Rapid Coagulation(URC) can dramatically remove organics, metals, and phosphates in wastewater by adding weighted coagulation additives(WCA) and recycling sludge into the coagulation basin to increase the growth rate and adsorption ability of floc. Also this process can improve floc settling rate than conventional coagulation process and reduce the pollutants loaded into the receiving water for securing water source. It was evaluated that WCA and sludge added have effects on the removal efficiency and estimated the possibilities of reusing the effluent from this process.

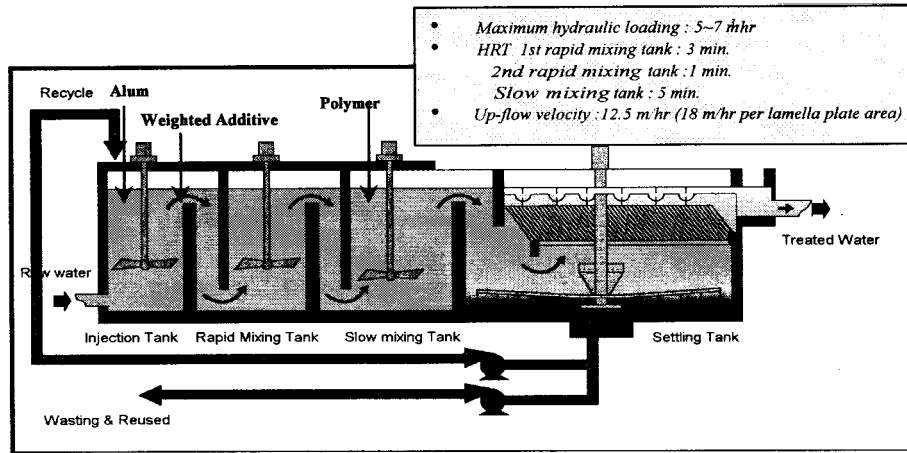


Fig. 1. The schematic diagram of URC pilot system.

### 1. 서론

기존의 물 관리 시스템은 100년 이상 우리의 위생문제를 해결하는데 기여해 왔다. 물 관리 시스템은 크게 상수도 시스템과 하수도 시스템으로 분류되며, 상수도 시스템의 도입은 수인성 질병을 사라지게 하였고, 하수도 시스템은 우리가 물을 소비함으로써 발생하는 오염물질을 분리, 처리함으로써 성공적으로 도시환경 밖으로 수송하도록 하는데 기여하였다. 또한 하수를 하수처리장에서 처리함으로써 도시 밖의 큰 하천이나 호소, 바다와 같은 수체의 규모가 큰 방류 수역의 수질이 보호될 것으로 믿어 왔다. 특히 하천은 물 관리 시스템 내에서 주된 물의 수송을 담당하는 요체로써 식수원의 직접적인 공급원일 뿐 아니라, 농업용수, 산업용수, 축산용수로 사용되어지며 생활수준이 향상되면서 각종 위락시설로의 이용이 증가추세에 있다. 최근 팔당호나 시화호와 같은 일련의 환경관련 현안들은 국내의 현 시스템의 근본적 재조정의 필요성을 인식케 하는 사건이었다. 이는 지금까지 우리가 점오염원의 처리에만 집착해왔기 때문이다 [1]. 그러나 하천에 있어서 유입되는 오염원의 대부분은 비 점오염원에 기인하고 있으며, 여기에 하수관망의 오점과 불량, 불법적으로 투기되는 산업폐수 등이 총 오염부하 중 상당량을 차지한다. 더욱이 강우중에 유하되는 우수에 의해 전술한 주요 오염원들은 집중적으로 하천으로 유입되게 된다 [2]. 이제 수질관리는 큰 규모의 재순환이 가능하도록 지표면에 떨어 지기전의 빗물과 용수원으로 사용하는 호소나 하천등 이용 가능한 수역 사이에 연결고리가

되도록 하는 실제적 수단이 필요하다. 따라서 도시생활환경의 개선과 용수의 재이용 등 부가적인 가치를 창출하고 공정 중에 발생하는 2차적 오염 부산물을 최소화 할 수 있는 URC와 같은 공법에 의한 하천수의 처리와 재이용이 그 기술적인 대안으로서 제시될 수 있을 것이다.

### 2. 자료 및 방법

초고속 응집침전 실험을 위한 pilot는 총 3기가 제작되었으며 동두천, 승기, 전주 등 하수종말처리장과 신천, 목감천, 남양천, 전주천 등의 하천, 인하대학교내의 인공호소인 인경호를 대상으로 각각 하수원수, 하천수, 호소에 대하여 pilot-test가 수행되었다. 간략한 구성도는 Fig. 1과 같으며, 최대 처리유량 5m<sup>3</sup>/hr에서 20 m<sup>3</sup>/hr로 다양하게 설계되었다. 모든 pilot는 최대 처리속도에서 injection tank 3-4분, flash mixing tank 1-1.5분, slow mixing tank 3-5분의 체류시간을 갖도록 설계하였다. 침전조는 경사판(lamella)을 60° 각도로 설치하였으며, 최대 속도에서 침전조 표면적당 월류속도 (침전조 수면적 부하율)는 12.5-18 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/hr (lamella 설치 면적당 18-25 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/hr)로 설계되었다.

침전조 하부에 침전 농축된 슬러지의 일부는 injection tank 또는 flash mixing tank로 반송되도록 하였으며, 생성된 슬러지의 일정량이 주기적으로 인출되도록 하였다. Jar-test는 응집과 침착실험을 위해 사용되었으며, 사용된 Jar는 Gator에 의해 설계된 2L 사각 jar를 이용하여 침전시 표면부하율을 변화

시킬 수 있도록 하였고, 응집시 교반강도와 반응시간 (야쿠아)와 glass, bentonite, diatomite가 사용되었으

Table 1. The physical and chemical characteristics of WCA

Characteristics	Glass	Diatomite	Bentonite	Aqua
Zeta potential (100 mg/L in tap water)	-18.36 mV	-7.79 mV	-8.61 mV	-9.88 mV
True specific gravity	2.335	2.137	2.361	2.407
Chemical composition	SiO <sub>2</sub> 99.8%	SiO <sub>2</sub> 81.7% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 7.86% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 1.57% CaO 0.61% MgO 0.91% Ig. loss 7.35%	SiO <sub>2</sub> 59.44% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 19.76% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 3.88% CaO 2.47% MgO 2.80% Na <sub>2</sub> O 3.35% Ig. loss 8.30%	SiO <sub>2</sub> 40.8% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 4.07% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 1.09% CaO 0.55% MgO 14.7% Na <sub>2</sub> O 0.42% Ca(OH) <sub>2</sub> 25.5% Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> 2.7% Ig. loss 10.17%
Specific surface area (B.E.T.)	28.474 m <sup>2</sup> /g	86.249 m <sup>2</sup> /g	118.947 m <sup>2</sup> /g	30.179 m <sup>2</sup> /g
Particle diameter (V <sub>50%</sub> )	35.3 μm	41.50 μm	24.70 μm	37.19 μm

며, 구성성분과 물리적 특성은 Table 1에 나타낸 바

은 pilot를 모사할 수 있도록 급속 교반 3분, 완속 교반 5분, 교반강도는 속도경사를 각각 150 sec<sup>-1</sup>, 52 sec<sup>-1</sup>로 고정하였으며 침전시간은 7분으로 표면부하율은 0.875 m/hr로 실험하였다. 흡착 공정시의 교반강도는 속도경사 150-170 sec<sup>-1</sup>에서 30분을 기준으로 실험되었다.

실험에 사용된 응집제는 alum(공업용, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 17%, 株이양화학) 고상시약을 수돗물에 10,000-40,000 mg/L로 용해 후 사용하였고, polymer는 응집공정간 음이온성 polymer(A-712P, 株이양화학)와 슬러지 탈수 개량제로 양이온성 polymer(YCX-452, 株이양화학)가 사용되었다. 가중응집제는 aqua(株정광

와 같다. Jar-test 응집 실험을 위한 약품의 투입위치는 급속교반 전에 alum과 가중응집제가 투입되고, 완속교반 전에 polymer를 투입하였으며, 투입량은 alum 20-200 mg/L, 가중응집제 50-500 mg/L, polymer 0.3-3 mg/L로 pilot와 동일한 투입량으로 수행되었다.

용존성과 입자성 오염물의 분석은 1 μm glass fiber filter를 이용하여 분류되었으며, 동일 filter를 사용하여 TSS를 측정하였다. DOC와 UV<sub>254</sub>는 0.45 μm membrane으로 여과후 Shamadzu 社의 TOC-5000과 HP 社의 UV-8452A로 측정하였다. 용존성 중금속은 Seiko Instrument의 ICP (SPS

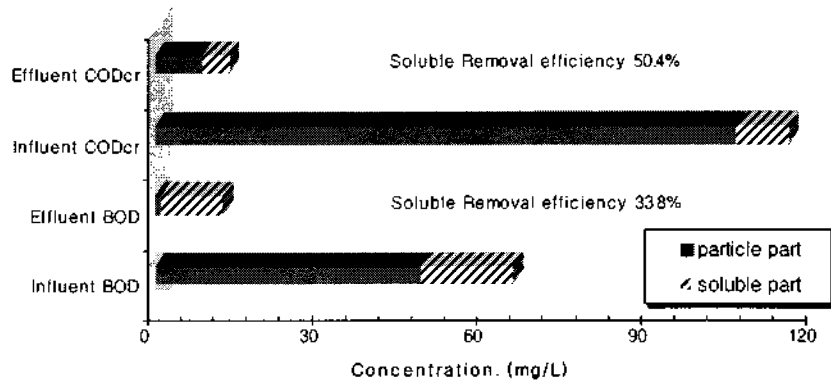


Fig. 2. The removal efficiency of soluble and particle organic matters.

7000A)를 이용하여 측정되었으며, 탁도는 Hach 社 2100P로 측정되었다. COD<sub>Cr</sub>, BOD, T-P, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>,

생성하며, 생성된 수화물(MeOH)은 용존성 유기물을 흡착하게 된다 [5]. 용존성 유기물에 대한 제거효과

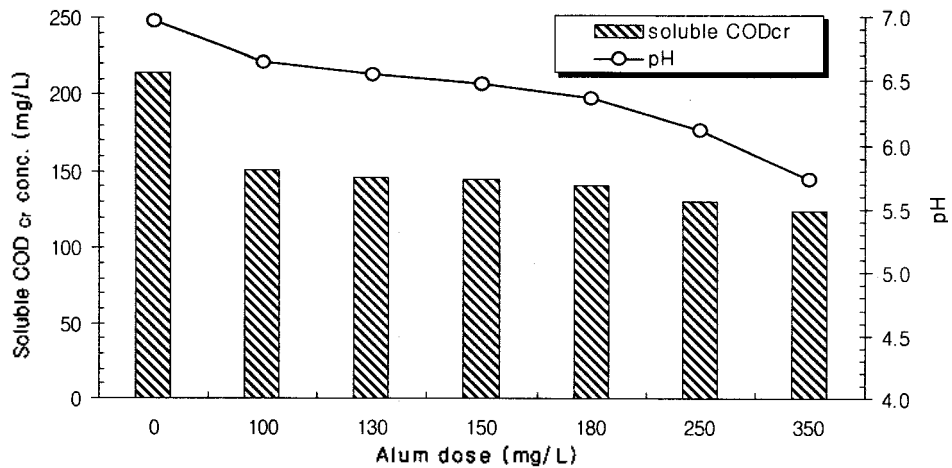


Fig. 3. The effect of alum dose with pH variation on removal COD<sub>Cr</sub>.

T-N, TKN, organic phosphate, tetrachloroethylene, trichloroethylene은 Standard Methods 측정법을 따랐다 [3].

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 유기물의 제거특성

유기물은 하천수질기준 및 중수도 수질기준 등 각종 수질기준의 기초 측정 항목으로서 (COD, BOD), 98년부터 99년까지 수행된 pilot실험 (신천을 포함한 7개 오염하천)을 통해 확인된 하천수중의 유기물 오염농도와 URC에 의한 평균적인 제거특성은 Fig 2와 같다.

하천수중의 유기물농도에 기인하는 상당 부분이 입자성으로 존재하였고, pilot에 의한 처리결과는 총 COD<sub>Cr</sub>과 BOD 모두 81% 이상의 높은 제거효율을 나타내었으며, 용존성 유기물의 경우도 33% 이상의 처리효율을 보였다. 유기물질은 일반적으로 용존성 (soluble), 콜로이드성 (colloidal), 부유성 (suspended)으로 구분되어질 수 있다. 응집 침전의 관찰 중, 용존성 유기물질(입자크기가 1 $\mu$ m이하인)로 간주되었던 것 중 상당 부분이 제거될 수 있음이 확인되었다 [4]. 기본적인 응집공정에서 사용되는 양이온 금속염은 주입과 동시에 빠른 수화반응을 통하여 콜로이드성 입자 또는 부유성 입자와 반응하여 그들의 전하를 중화시키고 용해성 물질과 반응하여 착화합물을

를 보다 분명히 확인하기 위해 승기 하수처리장으로 유입되는 하수원수를 대상으로 Jar-test를 수행하였으며, Fig. 3은 URC공정에서 사용되는 무기응집제인 alum을 100-350 mg/L까지 주입하고 침전을 통한 고액분리 없이 용존성 유기물이 불용성 입자로 혹은 수화물에 의해 흡착되는 양을 확인하기 위해 교반과정을 거쳐 침전 처리수를 여과하여 용존성 유기물을 평가하였다.

Alum의 주입량이 증가함에 따라 처리수의 pH와 용존성 COD<sub>Cr</sub>의 농도가 감소하며, pH의 저하는 금속염이 Al(OH)<sub>3</sub>로 수화되면서 일정량의 알칼리를 소모하기 때문이다. 일반적으로 용존성 유기물은 이온화된 기능기를 가지며, pH 5-6의 약산성에서 유기물은 응집에 참여하는 입자의 표면에 흡착되거나 불용성 공유결합을 통해 침전물을 형성할 수 있다 [6]. 따라서 약산성 상태에서 수화물에 의한 흡착과 금속염과의 착화합물이 증가된다. 본 실험의 최대 용존성 유기물 제거율은 42%였으며, 대상 하수에 대하여 alum 주입량 130 mg/L, 반응 pH 6.5 정도면 충분한 응집·침전공정을 수행할 수 있으리라 판단되었다.

Fig. 4에서는 alum에 의한 단일응집과 가중 응집제로서 aqua를 사용한 경우에 대하여, 고분자 응집제를 1 mg/L로 주입하고 침전공정 이후 용존성 유기물과 입자성 유기물에 대한 영향의 결과를 제거율로 나타내었다. aqua는 natorlite와 montmorillonite, calcium hydroxide, magnesium oxide등을 함유하는 가중 응집제로서, pH의 상승을 유발하고 무기 응집

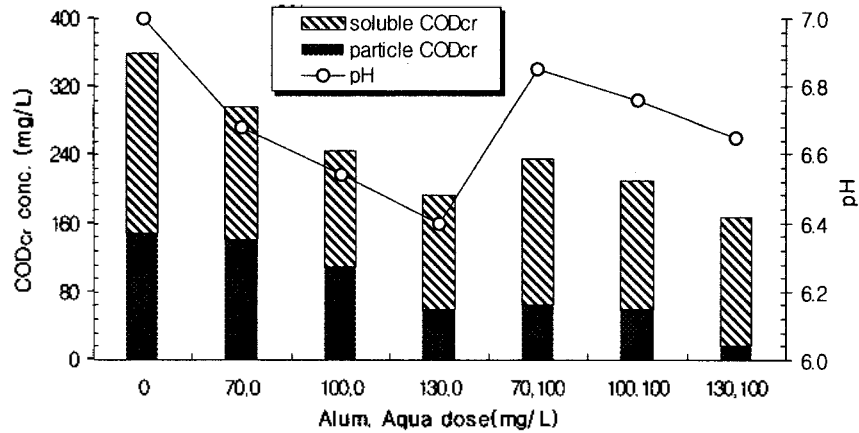


Fig. 4. The effect of alum and aqua dose on removal COD<sub>Cr</sub>.

제의 수화 반응을 촉진시켜, 수화에 의한 흡착을 증가시킬 수는 있으나, 직접적인 착화합물 형성으로 인한 높은 양 전하의 금속염 농도를 감소시켜 용존성 유기물의 제거를 감소시킬 수 있다. 또한 aqua의 주입은 pH를 상승시키므로 불용화 되는 유기물의 양도 감소하게 된다. 위 실험결과에서 alum을 단독으로 사용하여 응집하였을 경우가 총 COD<sub>Cr</sub> 제거율은 낮으나 용해성 부분의 최대 제거율은 36%로 aqua를 사용하였을 경우의 제거율 27%에 비하여 높았으며, aqua 주입의 경우 용해성 유기물의 제거율은 낮은 반면 총 COD의 제거면에서 단독으로 alum을 사용하였을 경우 보다 높은 제거율을 나타내었다. 이는 aqua가 직경 30-40 μm의 점토광물로서 응결핵으로 작용하여, floc의 성장속도와 침전성을 증가시켜 침전에 의한 고액분리를 유리하게 진행시키기 때문이

다.

한편, 알칼리도의 영향이 없는 glass와 diatomite를 가중응집제로 사용한 경우, 무기응집제는 aqua 주입시 보다 비교적 느린 수화속도를 가지며 유기물과 불용성 착화합물을 형성하게 된다.

Fig. 5는 동일 하수에 대하여 alum의 주입량을 130 mg/L로 고정하고 glass와 diatomite의 주입량을 50-500 mg/L까지 증가시켰을 때 응집침전 제거효율을 나타내었다. pH는 약 6.5로 유지되었으며, 가중응집제 주입량의 증가에 따른 pH의 변화는 무시할 수 있었다. alum 단독 주입시와 비교하여 제거율은 40%이상으로 향상된 제거율을 보였으며, glass에 비하여 diatomite가 5% 내외의 높은 제거율을 보였다. 위 실험으로부터 가중 응집제에 의한 floc의 성장성 이외에도 유기화합물에 대한 흡착의 증거를 확인할

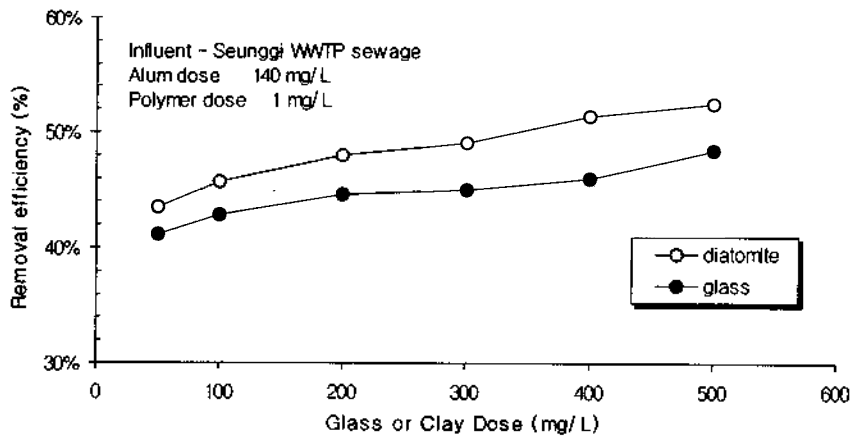


Fig. 5. The effect of glass or diatomite dose on removal COD<sub>Cr</sub>.

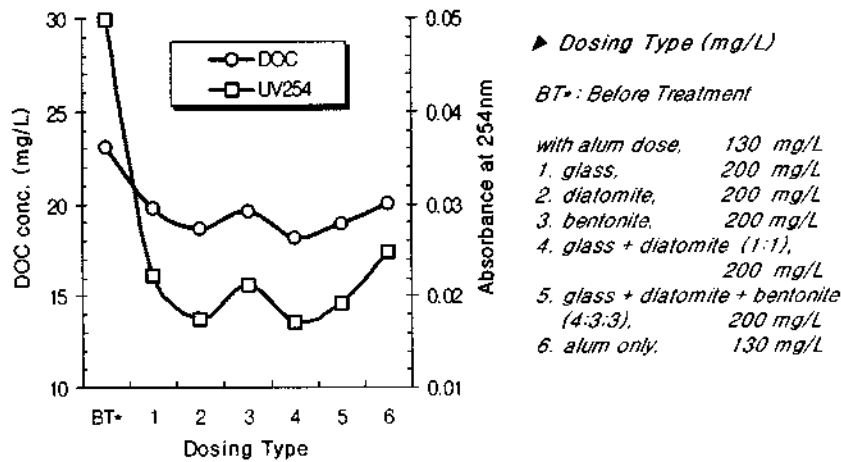


Fig. 6. The organic adsorption ability of WCA.

수 있었으며, glass에 비하여 비표면적이 크고 공극률이 높은(Table 1) diatomite가 보다 높은 흡착능을 가지는 것을 알 수 있었다. 또한 가중응집제에 의한 응집성 향상에 기인하는 유기물 제거효과와 더불어 자연수 중에 존재하는 유기물인 humics과 fulvics의 제거효과를 확인하기 위해 과염양화된 인공호소의 여과 상징수를 취하여, DOC와 UV<sub>254</sub>에 대한 제거효율을 확인하였다. alum의 주입농도 130 mg/L에서 가중응집제 첨가에 의한 유기물 제거효율이 Fig. 6과 같이 확인되었다. 가중 응집제를 주입한 경우, DOC와 UV<sub>254</sub> 모두 alum을 단독으로 주입한 경우에 비하여 높은 제거율을 확인할 수 있었으며, 이는 응집과 침전공정을 통해 유기물이 제거될 때, 가중응집제에 의해 제공되는 입자표면에서 유기화합물 혹은 금속염 수화물이 흡착될 수 있음을 시사한다. 또한 glass

와 diatomite의 경우 bentonite에 비하여 다소 높은 제거율을 나타내었으며, 이는montmorillonite를 주성분으로 하는 bentonite의 팽윤성과 점결성이 금속염 수화물을 흡착하기에는glass와 diatomite 보다 좋은 여건을 제공하지 못한 것으로 판단된다.

URC공정은 슬러지 반송을 포함하는 응집공정으로서 유기물 제거에 대한 슬러지 반송에 대한 영향이 평가되었다. 슬러지는 동일 호소에 대하여 alum을 단독으로 주입한 경우와 alum과 diatomite를 주입한 경우, alum과 diatomite 그리고 고분자 응집제를 함께 주입한 경우에 대하여 각각의 약품을 130 mg/L, 200 mg/L, 1 mg/L로 고정하고 응집 후 생성된 슬러지를 500-6,000 mg/L로 주입하면서 흡착실험을 수행하였다.

Fig. 7에서와 같이 2000 mg/L의 단일 alum 슬러

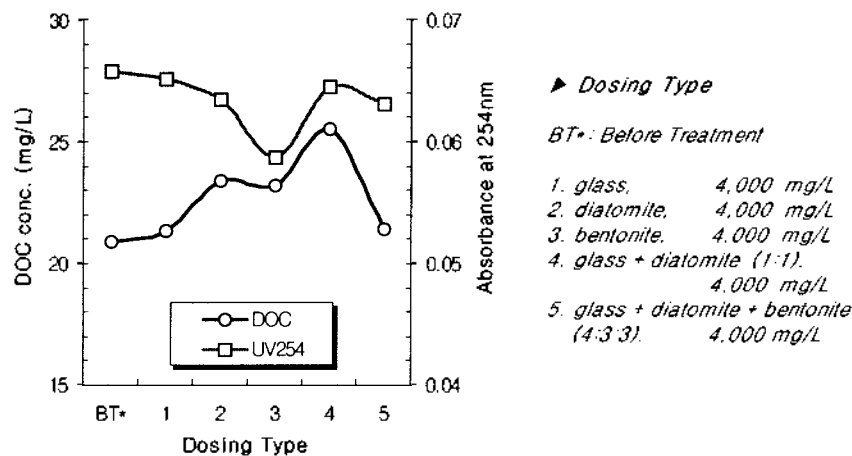


Fig. 7. The organic adsorption ability of returned sludge.

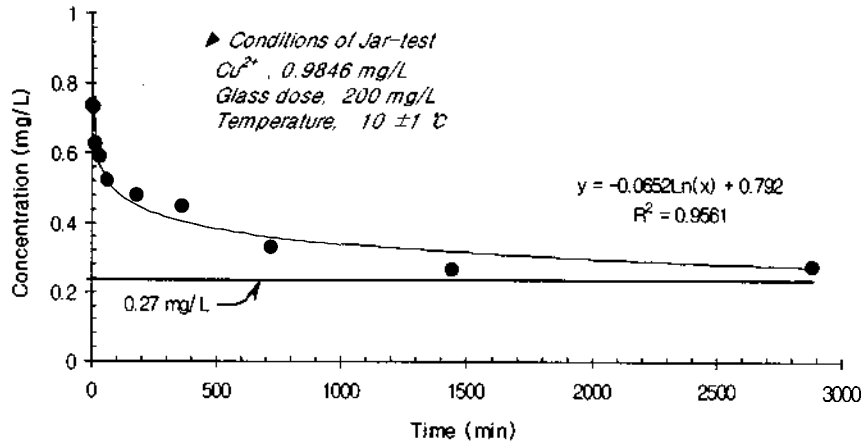


Fig. 8. The effect of glass and diatomite dose with pH variation on copper removal.

지에 의해 DOC 66%, UV<sub>254</sub> 35%의 가장 큰 흡착성을 보였다. 이는 반응된 슬러지의 경우, 유기물의 흡착이 주로 Al(OH)<sub>3</sub>에 의해 주도된다고 볼 수 있으며, 무기응집제의 수화반응이 완전히 진행된 경우 용존성 유기화합물은 수화된 금속염에 흡착되며, 가중응집제는 이러한 수화물이 침전 제거될 수 있는 seed로서 작용하게 된다 [8].

### 3.2 중금속 제거특성

중금속류는 주요 오염하천과 하수 중에서 빈번하게 검출되며, 이는 공중 보건상으로 위해할 뿐 아니라 수자원의 재이용 용도에 따라 반드시 제거되어야

할 중요항목중 하나이다. 본 연구에서는 수계에서 출현빈도가 높은 중금속류인 구리에 대하여 URC공정에 의한 제거특성을 평가하였다. 일반적으로 구리는 수중에서 불용성 공유결합을 형성할 수 있으며 이는 pH에 의해 크게 영향을 받는다. 구리 1.55 mg/L를 함유하는 인공폐수에 대하여 glass와 diatomite를 이용한 흡착 실험결과는 동일 pH에서 Fig. 8와 같이 수행되었으며 가중응집제를 투입한 경우 높은 제거효율을 보였다. 이는 glass와 diatomite가 수화된 구리이온을 흡착할 수 있는 SiO<sub>2</sub>의 활성표면특성을 가지기 때문으로 판단된다.[9]

특히, glass는 99.8%가 SiO<sub>2</sub>의 무정형 결정을 가지고 있으며, 강한 음이온으로 하전되어 있으므로 (Table 1) 구리에 대한 강한 흡착특성을 보이는 것으로 판단된다. 구리에 대한 glass의 흡착 특성을 확인하기 위해 pH 7.3, 구리 0.9846 mg/L를 포함하

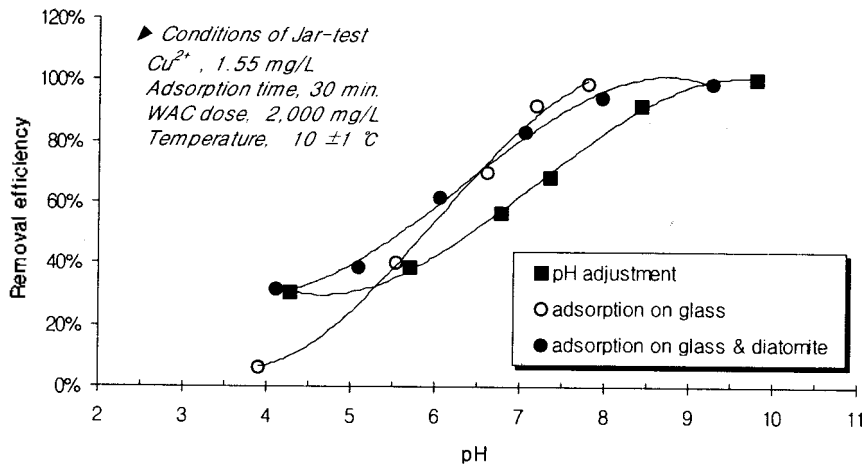


Fig. 9. The effect of contact time for copper adsorption on glass.

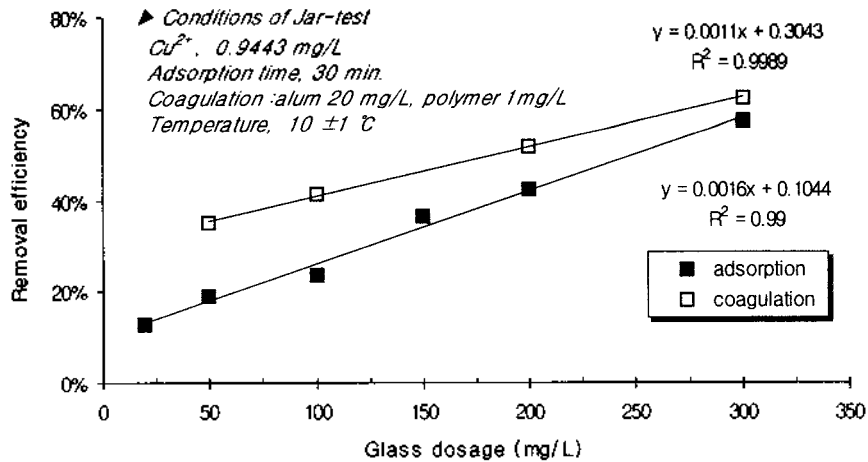


Fig. 10. The effect of coagulation and adsorption on copper removal.

는 인공폐수에 대하여 glass 200 mg/L를 주입하고 1 분에서 3000 분으로 접촉시간을 증가시켰고, 이에 따른 흡착량을 측정하였다. 그 결과를 Fig. 9에 접촉 시간에 따른 잔류농도로 나타내었다. 흡착시간 30분 이상에서 40%의 흡착량을 보이고 있으며, 700분 이후에서는 접촉시간은 크게 늘려도 흡착량의 변화가 크지 않음을 볼 수 있다. 따라서 충분한 구리의 제거를 위해서는 긴 접촉시간이 필요하며, glass의 구리 흡착에 의한 영향은 실제 URC공정에서 큰 부분을 차지 않음을 확인할 수 있었다.

응집 침전간에 구리의 제거특성을 확인하기 위해 alum 20 mg/L, polymer 1 mg/L로 주입량을 고정하고, glass의 주입량을 25-300 mg/L까지 증가시키면서 응집과 흡착제거의 특성을 비교하였다. 또한 반응 pH는 7.3 부근으로 일정하게 유지되었다. 실험결과 (Fig. 10) 동일 pH에서 동일 양의 glass농도에서 흡착에 의한 제거량보다는 응집에 의한 제거량이 높은 것을 보여주고 있으며, 이는 URC공정에 의해, 보다 효과적인 중금속 제거가 가능함을 확인하였다. 또한

URC공정에 의한 실패수의 중금속 제거 효율은 증가 하수처리장에서 수행된 pilot결과에 의하여 Table 2 와 같이 나타났으며, 이는 하천수 수질기준을 충분히 만족시킬 수 있는 결과였다.

위의 결과에서 응집 공정에 의한 중금속의 제거를 확인하기 위하여 구리를 포함하는 인공폐수에 대하여 glass, glass+diatomite, kaoline, zeolite를 각각 주입하고 응집제를 20 mg/L, 고분자 응집제를 1 mg/L로 고정 주입한 응집실험과 각각의 가중 응집제로 흡착 실험을 수행하였을 때의 결과를 Table 3에 나타내었다. 모두의 경우 응집과정에서의 제거량과 각각의 가중 응집제 단위 무게당 제거량이 흡착과정 중에 제거된 did보다 더 큼을 확인할 수 있었다. 또한 응집과정의 제거량에서도 유리를 사용하였을 경우 다른 가중 응집제를 사용하였을 경우보다 우수한 것을 확인할 수 있었다. 따라서 중금속의 제거면에서는 유리를 가중응집제로 사용하는 것이 우수한 결과를 얻을 수 있으며 유리의 단독적인 중금속 제거 능력이 응집과정 중에 무기 응집제의 수화물에 의해서 증가할 수 있음을 확인하였다.

Table 2. The removal efficiency of metals on URC pilot

Metals	Metal conc. in influent	Metal conc. in effluent	Removal efficiency
Cr <sup>6+</sup>	0.012 mg/L	0.003 mg/L	75%
Pb	0.024 mg/L	0.002 mg/L	92%
Zn	0.862 mg/L	0.008 mg/L	99%
As	0.118 mg/L	0.013 mg/L	89%
Cd	0.004 mg/L	Trace	>80%



Table 3. The removal efficiency of copper with adding WAC \* Each WAC dose 200 mg/L, \* alum dose 20 mg/L, polymer dose 1 mg/L

		Glass*	Glass+Diatomite*	Kaoline*	Zeolite*
mg Cu/ g adsorbent	adsorption	2.01 - 2.22	1.36	1.25	1.68
	coagulation*	2.41 - 2.53	1.99 - 2.11	1.98	2.01
Removal efficiency(%)	adsorption	40 - 44	27	25	33
	coagulation*	47 - 52	37 - 40	37	40

Table 4. The removal efficiency of T-P and TSS on URC pilot

Pilot test		Sin River	Moggam River	Namyang River	Jeon-ju River	Sin Cheon WWTP	Jeon-ju WWTP
T-P (mg/L)	Influent	1.2	1.3	0.48	0.44	4.28	1.91
	Effluent	0.02	0.1	0.04	0.02	0.40	0.041
	Efficiency	98.2%	94.9%	91.7%	95.5%	90.7%	97.9%
TSS (mg/L)	Influent	46.5	43.7	9.00	44.0	214.6	35.5
	Effluent	3.3	3.2	4.90	0.02	15.3	4.0
	Efficiency	93.0%	92.7%	45.6%	95.5%	92.9%	88.7%

### 3.3 영양염류의 제거특성

국내의 수자원은 대부분 주요 하천을 기반으로 하여 인공호를 조성하고 이를 통해 공급되고 있는 실정이다. 최근 인공호에 대한 조사와 연구를 통해 대다수의 호소에서 부영양화의 진행이 관찰되었고 [10], 그 주요한 원인은 비 점오염원으로부터 기인되는 오염물질의 대량 유입이며, 이는 하천을 통하여 우기에 집중적으로 유입되고 있다. 부영양화의 원인 물질은 특히 인이 가장 큰 제한 인자로 알려져 있으며 [11], 부영양화를 억제하기 위해서는 인의 농도를 조류의 성장 제한 농도(0.02 mg/L)이하로 유지해야만 한다 [12]. 한편, 활성 슬러지 공법을 채택하는 대다수 하수 처리장의 경우, 일반적으로 유입되는 인의 농도는 3-6 mg/L이며 1,2차 처리에 의해 40-60%만을 제거하고 나머지는 방류하게 되며, 이는 조류의 성장을 억제할 수 있는 인 농도를 크게 상회하는 수준이다. 따라서 부가적으로 폐수로부터의 인 제거를 위한 3차 처리가 필요하게 된다.

URC pilot 운전이 수행된 하천과 하수 처리장에 대한 총 인과 입자성 부유물의 평균제거효율은 Table 4과 같이 나타났다.

목감천을 제외하고 1단계 응집 처리후의 하천수질은 0.04 mg/L이하의 양호한 수질을 나타내었으며, 하수처리장과 목감천의 경우 2단계 응집 처리에 의

하여 0.02 mg/L이하의 매우 양호한 처리수질을 획득할 수 있었다. 금속염 주입에 의한 인의 제거 형태는 금속염과의 직접반응, 금속염의 고분자화된 착화합물과의 반응, 수화물 형태의 금속염으로의 흡착 등으로 나누어 볼 수 있으며, URC의 경우 가중 응집제의 주입과 슬러지의 반송을 통해 보다 향상된 인의 제거율을 얻을 수 있을 것으로 판단되었다. 인산염 농도 3 mg/L의 인공폐수로 Jar-test를 수행하여, 가중 응집제의 주입량에 따른 인의 제거 경향과 응집 후 생성된 슬러지를 주입하였을 때 인의 제거 경향을 확인하였으며 그 결과는 Fig. 11에 나타내었다.

가중응집제의 주입량 200 mg/L 이상에서 총 인의 농도가 다소 상승함을 볼 수 있으나, 무기 응집제를 단독으로 주입하였을 경우에 대하여 뚜렷한 차이를 발견할 수 있었다. 또한 슬러지 반송량 증가에 따른 총 인 농도의 감소를 확인할 수 있었으며, Fig. 12에 나타내었다.

이러한 결과는 금속염과의 반응으로 생성된 인산염 착화합물과 용존성 Al-P-OH 착화합물을 가중응집제가 흡착하고, 수화물 형태의 금속염을 포함한 슬러지를 반응조 내로 반송함으로써 인산염이 수화물에 흡착되어 인의 제거효율을 높일 수 있었다고 사려된다 [13].

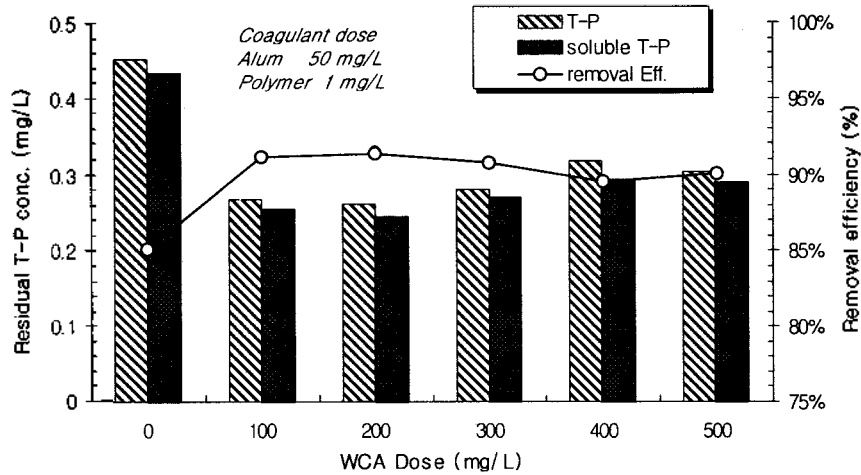


Fig. 11. The effect of WCA dose on phosphate removal.

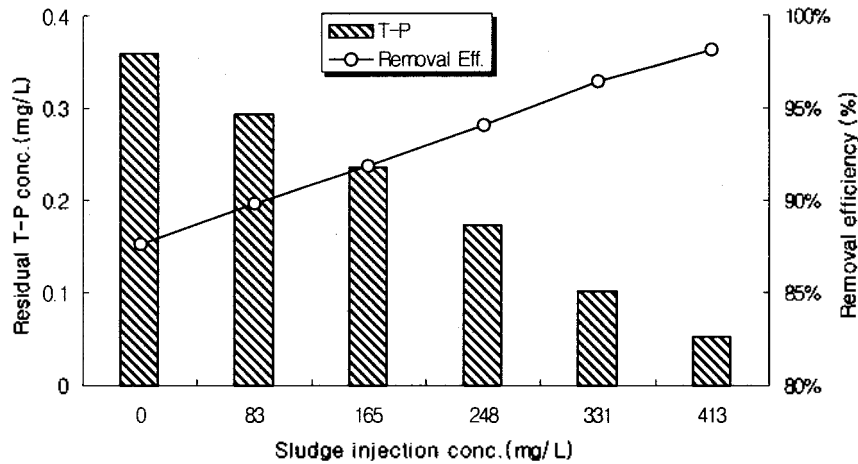


Fig. 12. The effect of returned sludge on phosphate removal.

### 3.4 수자원 확보를 URC공정의 적용

최근 인구 증가와 이로 인한 사회발전, 산업경제 증가 그리고 생활의 고도화로 각 방면의 용수 사용량이 증가하여 이전의 지표수와 지하수에 의존하는 방법으로는 이를 만족시킬 수 없게 되었다. 본 실험은 수자원의 확보를 위하여 초고속응집 공정을 적용하고 처리수의 수질 분석을 통하여 물의 재이용 측면에서 그 수준을 확인하였다. 중소규모의 하수 처리장의 경우 대부분 우수의 초기 유출수를 수용할 수 없을 뿐 아니라 유량과 수질의 변동이 큰 경우, 생물학적 처리에 악영향을 주는 경우가 많다. Fig. 13은

전주 하수처리장의 하수 원수에 대한 pilot 운전결과를 나타내었다.

하수 원수는 BOD, TSS, T-P 각각 66, 223, 4.3 mg/L였으며, URC공정의 처리수질은 원수 수질의 변동에도 불구하고 13.8, 15.3, 0.4 mg/L로 78% 이상의 높은 제거효율을 보여, 현 중수도 수질기준 (BOD 10 mg/L 이하, 탁도 5도 이하)에 근접한 수질을 획득할 수 있었으며, 모래 여과 및 염소 소독 등의 간단한 후처리 공정을 추가함으로써 재이용 가능한 수질을 획득할 수 있으리라 판단된다.

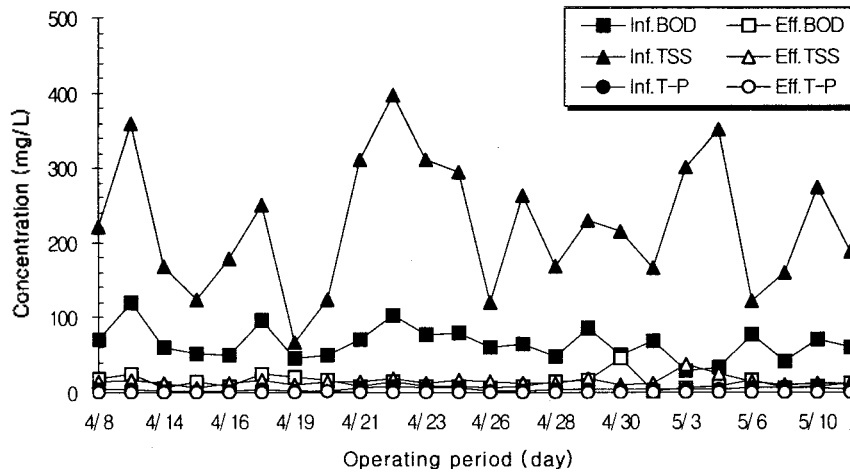


Fig. 13. The results of URC pilot on Joen-ju WWTP.

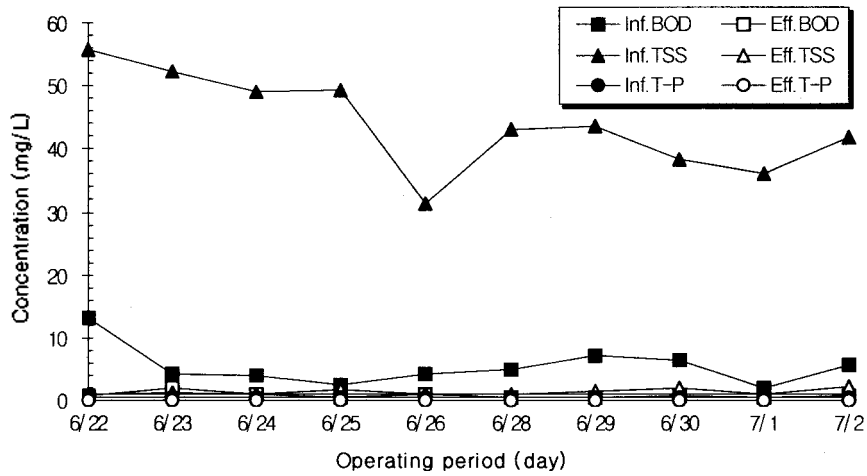


Fig. 14. The results of URC pilot on Joen-ju River.

Fig. 14의 전주천에 적용한 Pilot 운전 결과에서 하천수의 경우, 평균 BOD, TSS, T-P가 각각 5.45, 44.01, 0.44 mg/L이었으며, 처리수는 0.8, 1.39, 0.02 mg/L로 매우 높은 처리 효율을 얻을 수 있었다.

위의 결과로부터, 광역 상수원의 혜택을 받을 수 없는 곳이나 해안, 도서지역의 보조 수자원 공급에 초고속 응집 공정을 적용할 수 있으리라 판단된다. 또한 최근 정부에서도 300 t이상의 수돗물을 사용하는 건축물에서는 중수도 시설을 의무화하는 방안을 입법화할 예정에 있으며 이에 초고속 응집 공정은 중, 소규모의 사업장의 처리효율 증가와 수자원 재이용 공정에 효과적으로 적용될 수 있으리라 기대된다.

4. 결론

URC 공정에 의한 오염된 하천수와 하수, 호소수의 응집실험 결과 유기물, 중금속, 영양염에 대하여 우수한 제거효율을 보였으며, 수자원 확보와 재이용 가능한 수질을 획득할 수 있었다. 각 오염물에 대한 처리특성은 다음과 같다.

1. 하천수에 대한 평균적인 유기물 제거효율은 COD<sub>Cr</sub>, BOD 모두 81% 이상의 높은 처리효율을 보였으며, 용존성 유기물에 대하여서도 33% 이상의 처리효율을 얻을 수 있었다. URC공정의 가중응집제와 슬러지 반송은 불용성 유기물을 흡착할 수 있는 활성화된 입자표면과 수화된 alum을 제공함으로써 유기물의 제거율을 증가시키게 된다.
2. 하수원수에 대한 중금속 제거효율은 하천수

수질기준을 충분히 만족시킬수 있었으며,  $Cu^{2+}$ 에 대한 응집 및 흡착결과 가중응집제중 glass에 의한 제거효율이 가장 뛰어난 것으로 나타났으며, 그 제거기작은 흡착에 의한 효과와 함께 가중응집제가 seed로써 작용하여 수화된 금속 이온과 함께 공침함으로써 제거되는 것으로 판단된다.

3. 부영양화의 가장 주요한 제한인자는 인이며, URC공정에서 인의 평균제거율은 95%로 나타났으며, 부영양화 억제를 위한 인의 제한농도인 0.02 mg/L를 대다수 하천수에서 만족시킬 수 있는 수준이었다. 이는 금속염과의 반응으로 생성된 인산염 착화합물과 용존성 Al-P-OH 착화합물을 가중응집제가 흡착하고, 수화물 형태의 금속염을 포함한 슬러지를 반응조 내로 반송함으로써 인산염이 수화물에 흡착되어 인의 제거효율을 높일 수 있었다

#### 감사의 글

본 논문은 서해연안환경연구센터로부터 연구비 지원을 받아 이루어진 연구의 일부를 정리한 것입니다. 서해연안환경연구센터에 감사의 뜻을 표합니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 윤태일, 기존의 물 관리 시스템의 재검토와 초고속 응집침전처리의 적용, 제1회경기만 연안해역 오염 현황 및 관리를 위한 세미나.(1998)
- [2] 공동수, 국내호소의 영향상태 관정기준에 관한 제고, 국립환경연구원 주최, 하천·호소의 수질보전과 유역관리에 관한 한·일 공동세미나.(1997)
- [3] APHA, Standard methods for the examination of water and wastewater, 17th ed. Washington DC: American public health association.(1992)
- [4] M. Henze and P. Harremoës, The effect of chemical precipitation on the wastewater composition and its consequences for biological denitrification, Proceeding of the 5th Gothenburg Symposium September 28-30, Nice, France, Chemical water and wastewater treatment II.(1992)

- [5] Fetting J. and Ratnaweera H., Influence of dissolved organic matter on coagulation/flocculation of wastewater by alum, Wat. Sci. Tech, Vol. 27, No. 11, pp. 103-112.(1993)
- [6] Rebhun, M. and Lurie, M., Control of organic matter by coagulation and floc separation, Wat. Sci. Tech., 27(11), 1-20.(1993)
- [7] Stumm W., Chemistry of the solid and water interface, The process at the mineral-water and particle-water interface in natural systems, John Wiley & Sons, Inc., New York, N.Y.(1992)
- [8] Stumm, W. and Morgan, J. J., Aquatic Chemistry, John Wiley & Sons, Inc., New York.(1981)
- [9] Carmen Gabaldon "Single and Competitive adsorption of Cd and Zn onto a granular activated carbon.", wat. Res. Vol.30.,No.12., pp. 3050-3060.(1996)
- [10] 지재성, 일산호수의 최적수질 관리를 위한 연구 보고서. 한국건설기술연구원, II-6-III-2.(1997).
- [11] Golterman H. L., Chlorophyll-Phosphate Relationship, a Tool for Water Management," Algae and the Aquatic Environment, BIOPRESS, 205-224(1988).
- [12] Dunne T. and Leopold L. B., Water in Environmental Planning, Freeman W. H. and Company, New York.(1985)
- [13] Goldshmid T, and Rubin J., Determination of soluble species and precipitates of aluminium phosphate, Sep. Sci. Thec. Lett. 10, 10-48.(1988)