

## 정밀여과에 의한 하수고도처리수의 재이용을 위한 전처리법에 관한 연구

### A Study on the Pretreatment Process for Sewage Reuse by Microfiltration Process

국영롱 · 주재영 · 배윤선 · 이혜인 · 정인호 · 박철휘\*

Kuk, Young-Long · Joo, Jae-Young · Bae, Yoon-Sun · Lee, Hye-In · Jung, In-Ho · Park, Chul-Hwi\*

서울시립대학교 환경공학부

(2010년 9월 9일 접수 ; 2010년 10월 8일 수정 ; 2010년 10월 12일 채택)

#### Abstract

It is evident that Korea will continue its battle with water shortage and alternative program are being taken into action. One of the main actions is reusing 1,800 tons of effluent of 357 sewage treatment plant located nationwide. Therefore this study supplemented ozone oxidation methods that would increase the efficiency of organic oxidation and coagulation. Through this method, fouling will be controled sufficiently by preventing membrane process in the system for advanced sewage treatment. In this study, ozone-coagulation-microfiltration membrane were used. The final removal efficiency of the pretreated water from the result of the ozone-coagulation were 50% of COD<sub>Cr</sub>, 38% of TP and 11% of TOC respectively. Water quality treatment has decreased about 80% for TP. Ozone-coagulation-microfiltration membrane maintains the high flux while decreasing the number of organic matter and the membrane fouling, and reducing the TP. As a result, in order to reuse the water from the sewage, the ozone-coagulation-microfiltration membrane type must be considered in order to achieve the best efficiency.

**Key words** : Ozone, Coagulation, Microfiltration membrane, Sewage reuse

**주제어** : 오존, 응집, 정밀여과막, 하수 재이용

#### 1. 서론

산업이 발전하고 지속적인 인구의 증가로 인해서 우리나라의 물 부족 현상은 증가할 것이다. 건설교통부의 수자원 장기종합계획에서는 우리나라의 수자원은 2011년에 769 백만톤, 2020년에는 1,190 백만톤의 물이 부족할 것으로 예상되었다. 이러한 물부족 현상을 해소하기 위해서 여러 방안이 강구되고 있다. 빗물의 재이용, 해수 담수화, 댐의 건설 등이 있다. 하지만 댐의 건설은 건설비용이 높고 환경

파괴를 유발할 것이다. 따라서 한 대안으로 전국 357개소 하수처리장의 1.8천톤 방류수를 재이용 하는 방안이 있다. 서울시 하수처리장에서 발생하는 2차처리수는 1일 581만 m<sup>3</sup>으로서 전국적으로 볼 때 2008년 말 현재 총 인구 중 공공하수종말처리시설(마을하수도 포함) 및 폐수종말처리 시설을 통해 처리되는 하수처리구역 내 하수처리인구 비율로 산정한 하수도 보급율은 81.4%이며, 전국에 가동 중인 하수종말처리시설은 268개소, 시설용량은 21,534,745톤/일이고, 마을 하수도는 1,153개소, 시설용량은 83,032톤/

\* Corresponding author Tel:+82-2-2210-2576, Fax:+82-2-2210-2914, E-mail: chpark@uos.ac.kr(Park, C.)

일이다. 하루 평균 약 1.5천만톤(연간 약55억톤)에(환경부, 2008) 해당하는 하수처리수가 발생하고 재처리하여 각종 용수로 다시 사용할 수 있다. 더구나 앞으로 2차 처리기술의 향상과 고도처리의 실시로 처리수의 수질이 향상될 것을 감안하면 하수처리수는 그 자체가 훌륭하고 경제적인 수자원으로서 이를 유효하고 적절하게 이용함으로써 새로운 수자원 개발을 최소화할 수 있고 다가오는 물부족 현상에 대처할 수 있는 계기가 될 수 있다.(김영란, 1999)

하수처리수 재이용을 위한 여러 종류의 공법 중 적은 부지와 기존의 하수처리장 내에 설치가 가능한 막여과 시스템이 적당하다. 그러나 막여과 시 가장 문제가 되는 막 파울링에 대한 대응 방안으로 응집-막여과 공정만으로는 막 파울링에 관한 제어가 충분히 이루어지지 않는다. 따라서 본 연구에서 유기물의 산화 및 응집 공정 효율을 향상시키는 오존산화법을 추가하여 하수처리수에 대한 막여과 공정 시 막 파울링을 충분히 제어하고 안정적인 공정 운영을 유도하는 방안을 제시하고자 한다.

본 연구에서는 실험실 규모의 오존-응집-막여과 공정을 구성하여 기존 막 단독 공정 및 응집-막여과 공정의 비교를 통해 공정의 효율을 평가하고, 오존-응집-막여과 공정의 막파울링 물질의 제거 기작을 평가하고자 하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치의 구성 및 운전조건

본 연구에 사용된 원수는 서울의 J 물재생센터의 1,2 처리장 2차침전조의 유출수이며 적용된 생물학적 처리 공정으로는 A<sup>2</sup>/O 공정이 적용되었다.

Fig. 1과 같이 Break Tank에 전처리수를 넣고 질소 가스를 연결하였다. 압력은 30kPa로 고정하고 플럭스를 구하였다.

유량은 디지털 저울을 이용하여 질량으로 측정하였고, 압력은 pressure transmitter를 이용하여 디지털로 모니터링이 가능하도록 하였으며, 각 압력은 ±0.2kPa를 유지하였다. 이 때 측정된 압력 P는 막으로 유입되는 곳의 압력으

로, 막으로 통과한 투과수의 압력이 0(대기압 제외)이기 때문에, 막간차압  $\Delta P$ 와 동일하다. 실험수를 이용해 실험을 수행하기 전 막 자체의 저항을 최소화하여 안정적인 투과 플럭스를 얻기 위하여 막을 장착한 교반여과장치를 통해 2시간 이상 순수를 통과시켜 주었다.

실험에 사용한 막의 사양은 Table. 1에 나타내었다. 막은 PVDF (polyvinylidene fluoride) 재질의 MF막을 사용하였다. 막의 공극은 0.22 $\mu\text{m}$  이다.

### 2.2 전처리 방법

#### 2.2.1 오존 산화

초순수 O<sub>2</sub>를 이용하는 오존발생기를 이용하여, 노즐을 통해 나오는 오존을 산기관을 통해 분사 주입하였다. 오존 접촉조는 2L의 크기이다.

#### 2.2.2 응집 침전 공정

응집은 Jar-tester를 이용해서 2L 반응조에 원수를 넣은 뒤 응집제인 폴리염화알루미늄 17%으로 희석하여 2ppm으로 응집하였다. 교반강도와 교반시간은 200rpm에서 30초, 30rpm에서 30분 동안 응집을 수행하였으며, 용액의 온도는 20 (±0.5) °C였다. Jar-tester를 이용하여 응집한 실험수는 약 4시간의 침전시간을 가진 후 막 여과 실험을 하였다.

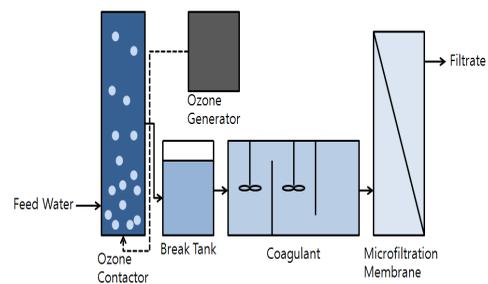


Fig. 1 Schematics of MF system

Table. 1 Characteristics of membrane used for this study

Filter Material	Hydrophilic PVDF (polyvinylidene fluoride)
Filter Pore Size ( $\mu\text{m}$ )	0.22
Porosity (%)	70
Surface area ( $\text{cm}^2$ )	31.67
Water Flow Rate ( $\text{mL}/\text{min} \times \text{cm}^2$ )	6.7

2.2.3 오존-응집 공정

오존을 접촉시킨 처리수를 용존오존을 배제하기 위해 약 4시간을 정치시킨 후 응집을 수행 후 응집 침전 실험을 하였다.

2.3 막여과저항 실험

막여과 실험 시 일정한 TMP(transmembrane Pressure) 상태에서 flux 감소가 이루어지고 일정한 flux를 유지할 때를 한계사용으로 본다. 이때의 막저항을 막 전체저항  $R_t$ 로 보고 막 투과능에 영향을 미치는 각 여과저항의 분포를 알아보기 위하여 세정단계마다 flux를 측정하였다. 우선 운전이 끝난 막의 flux를 증류수를 이용해 측정하고, 스폰지를 이용한 세정을 한 후의 flux를 측정한다. 스폰지를 이용한 세정 후의 flux를 파울링 저항  $R_f$ 로 보고 케이크에 의한 저항은 전체저항에서 파울링 저항  $R_f$ 와 막 자체 저항  $R_c$ 를 뺀 것으로 하였다. 다음과 같이 가정하고 아래의 여과저항식을 이용하여 여과저항의 비를 식 (1), (2)와 같이 산출하였다.

$$J_c = \frac{\Delta P}{\mu R_t} \quad (1)$$

$$R_t = R_c + R_f + R_m \quad (2)$$

$J_c$  = flux(L/m<sup>2</sup>/hr)

$\Delta P$  = 막투과압(kPa)

$\mu$  = 투과액의 점도(Pa · s)

$R_t$  = 전체 저항(m<sup>-1</sup>)

$R_c$  = 케이크에 의한 저항(m<sup>-1</sup>)

$R_f$  = 파울링에 의한 저항(m<sup>-1</sup>)

$R_m$  = 막 자체의 저항(m<sup>-1</sup>)

Table. 2 Characteristics of raw water

Item	Secondary effluent (mg/L)
CODcr	16.7
BOD <sub>5</sub>	0.97
SS	1.11
TN	14.49
TP	2.763
TOC	4.6753
UV <sub>254</sub> (cm <sup>-1</sup> )	0.087
pH	7.23

2.4 분석항목

본 연구에서는 총유기탄소(TOC), UV-254, Particle size를 주요분석항목으로 한다. TOC는 수중에 존재하는 총유기탄소를 의미하는데 이는 수중 NOM을 정량하는 가장 보편적으로 사용하는 분석법이다. 사용된 기기는 Shimadzu사의 TOC-V CPH 모델을 사용하였다. 또한, 불포화 결합들을 가진 유기물들은 정수처리과정 중 소독 공정에서 발생하는 유해한 소독부산물(disinfection by-products; DBP)의 전구체로서의 역할을 하며 문제를 일으키기 때문에 입자성 물질을 측정하였다. 입자성 물질의 측정기기는 CE 4004 Cecill instrument, USA를 사용하였다. 막오염은 입자의 크기에 의해 영향을 받기 때문에 수중 입자의 크기를 측정하였다. 사용된 기기는 Pamas사의 SBSS-C 모델을 사용하였다.

그 외의 분석항목은 CODcr, BOD, TP, TN, TSS, VSS 등을 분석하였으며, CODcr, BOD, TP, TN, TSS, VSS는 공정시험법과 Standard Methods에 준하여 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 오존 접촉 및 응집에 따른 수질 변화

3.1.1 원수 수질 분석

실험에 사용된 서울시 J 물재생센터 1,2처리장 2차 침전지 유출수의 수질은 다음과 같다.

3.1.2 오존 주입량 산정

오존의 강력한 산화작용에 의해 막이 손상될 수 있다. 또한 오존 접촉 후 응집 공정에서 잔류오존에 의한 응집 플록의 산화가 일어날 수 있다. 따라서 오존 주입량에 따른 잔류 오존 농도를 측정하였다. Table. 3을 보면 오존 주입량이 3mg/L일 경우 잔류오존은 0.08mg/L로 거의 존재하지 않았다. 또한 오존 주입량의 경우 5mg/L에서 4mg/L로 감소하였을 때 0.69mg/L에서 0.16mg/L로 크게 감소하는 것을 볼 수 있다. 따라서 본 실험에서 사용된 오존 주입량은 4mg/L로 산정하였다.

Table. 3 Ozone residual by ozone dose

Ozone dose	Ozone residual (mg/L)
6	0.95
5	0.69
4	0.16
<3	<0.08

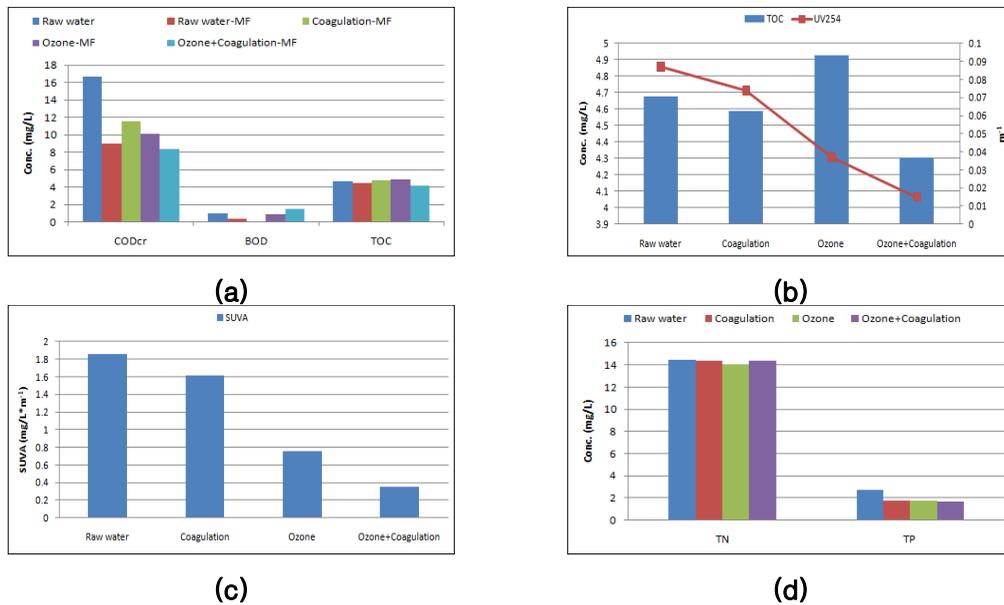


Fig. 2 Variation of (a) CODcr, BOD, TOC, (b) TOC, UV-254, and (d) TN, TP concentration in each pretreatment process. Variation of (c) SUVA value after each pretreatment process.

### 3.1.3 오존 및 응집 조건에 따른 수질 변화

본 연구에서 진행된 실험 조건은 전처리를 거치지 않은 원수와 오존만 전처리한 실험수, 응집만 전처리한 실험수, 오존 및 응집 모두 전처리한 실험수이다. 4가지 경우의 원수를 두고 수질의 변화를 알아보았다. Fig. 2(a)와 같이 각각의 전처리에 따른 유기물의 변화를 보면 CODcr과 같은 경우 오존-응집 전처리 과정이 17.4mg/L에서 9.3mg/L로 약 44.3%의 가장 큰 제거율을 보였다. 단독 전처리로는 오존이 39.5%, 응집이 32.9%의 CODcr 제거율을 보였다. BOD의 경우 원수는 0.97mg/L에 비해 오존 단독 전처리의 경우 2.13mg/L로 약 2배 이상 증가하였다. 이는 오존의 반응 중 고분자 유기물의 분해에 따른 BOD 물질로의 전환으로 판단된다. 오존-응집 전처리에서 응집으로 인한 감소가 보인다. 이는 원수나 응집 단독 전처리에 비해 증가된 농도이다. TOC를 보면 오존 단독 공정에서 BOD의 경우와 비슷한 것으로 오존-응집 전처리에서 가장 낮은 4.14mg/L의 농도를 보였다. 이는 오존에 의한 유기물의 분해로 인해 불안정한 전하를 띄게 되고, 이에 응집제 투입으로 인한 높은 효율의 응집 효과를 보였다고 판단된다. Fig. 2(b)를 보면 탄소의 이중결합 형태를 나타내는 UV-254의 경우 TOC와 비교해서 오존 단독 전처리에서 크게 감소하지만 TOC는 증가하고 있다. 이는 오존의 유기물 산화능을 확인할 수 있다. 이러한 현상은 오존이 UV-254에 민감한 이중, 삼중 결합이나 방향성 결합 물질과 부식질이나 다른 유기물 내의 불포화 결합을 끊어 흡광도를 감소시키고 동시에 고분자유기

물들을 분해하여 저분자물질로 완전히 산화시키지는 못하고 포화결합을 가진 중간분자량의 유기물질로 변화됨을 의미한다. 하지만 오존-응집 전처리에서는 완전히 산화되지 못한 유기물들이 응집제의 투입으로 인해 응집의 시너지 효과가 나타나 응집 단독 전처리 보다 응집 효율이 증가한 것으로 판단된다. 위와 같은 결과는 Fig. 2(c)에서도 나타나는데 SUVA값은 1.86에서 0.34로 오존-응집 전처리가 가장 효율이 높게 나타났다. 이는 유기물의 소수성의 저감과 저분화가 됨과 동시에 응집에 의한 제거가 되었다. Fig. 2(d)를 보면 TN의 경우 약 14mg/L로 전처리에 따른 변화는 보이지 않았다. 하지만 TP의 경우도 원수 약 2.7mg/L에서 각각의 전처리수가 약 1.7mg/L로 나타났다.

### 3.2 정밀여과실험

Fig. 3을 보면 각각의 전처리수를 정밀여과막에 통과시켜 보았을 때 초기 플럭스는 약 1200L/m<sup>2</sup>/hr로 원수, 응집, 오존, 오존-응집 모두 비슷하였다. 하지만 운전이 시작되고 나서 30분후 플럭스는 오존-응집 606L/m<sup>2</sup>/hr, 오존 486L/m<sup>2</sup>/hr, 원수 415L/m<sup>2</sup>/hr, 응집 299L/m<sup>2</sup>/hr로 나타났다. 응집 전처리의 경우 30분후 가장 낮은 플럭스를 나타냈는데 이는 응집 플록의 체어를 위해 4시간의 침전을 거친 후 막여과 공정을 시행하지만 오존-응집-여과막이라는 공정 안에서 제한된 범위에서 갖는 2mg/L의 응집제 투입으로 미세플록의 침전이 이루어지지 않아 막 저항이 증가한 것으로 보인다. 반면 오존은 운전 15분까지 가장 높은

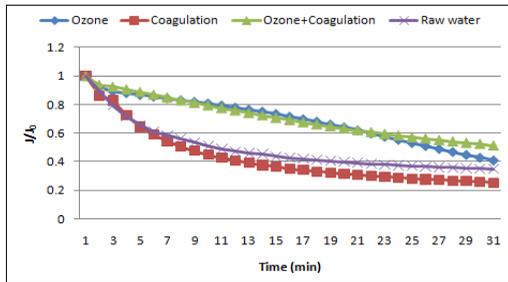


Fig. 3 Flux variation in filtration process after each pretreatment

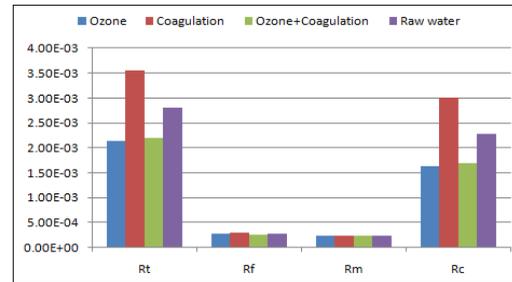
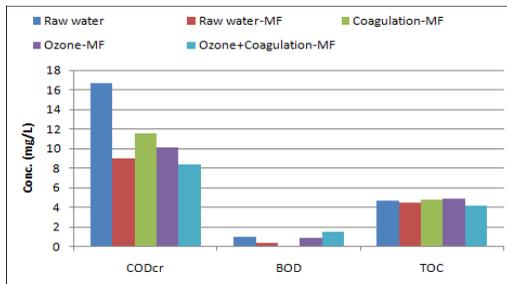
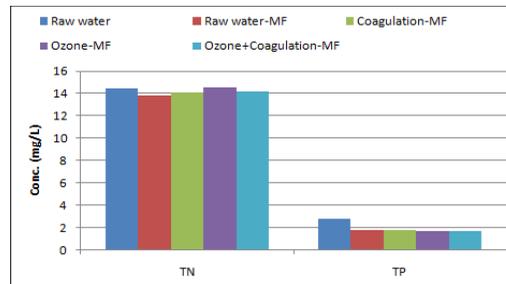


Fig. 4 Comparison of membrane fouling resistance values according to treatment



(a)



(b)

Fig. 5 (a) CODcr, BOD, TOC and (b) TN, TP values of treatments

플럭스를 나타냈지만 그 이후 급격한 플럭스의 저감을 보였다. 이는 오존에 의해 산화된 유기물이 막에 흡착하기 때문으로 판단된다. 오존-응집 전처리는 막여과 시 응집 단독 전처리와 같이 적은 응집제량으로 인한 막 저항이 크게 일어나지 않은 것으로 보여, 이는 오존의 응집 개선 효과로 인해 효율적인 응집이 일어나 플록의 크기가 커진 것으로 판단된다.

### 3.3 막여과저항 평가

각각의 전처리를 거친 실험수에 대해 막여과 공정을 거친 후의 여과저항을 평가해보았다. Fig. 4는 각각의 실험수에 따른 막여과 저항을 나타낸 것이다. Fig 3과 비교해보면 응집을 거친 실험수에 대한 막의 전체 저항이  $3.55E-03$  값으로 가장 높게 나타났다. 또한 세척을 거친 후 측정된 막 파울링 저항 값 또한 가장 높게 나타났다. 이는 응집을 거친 실험수는 미세플록에 의한 막파울링이 증가하는 것으로 예상된다.

오존을 거친 실험수의 전체 저항 값은 오존-응집을 거친 실험수와 비슷하지만 막 파울링 저항값과 상당량 차이가 있다. 이는 오존에 의해 산화된 유기물들이 막에 흡착이 되어 막 파울링으로 나타난 것으로 판단된다.

### 3.4 전처리에 따른 막여과수 수질 평가

각각의 전처리를 거친 실험수의 막여과수에 대한 수질을 평가하였다. Fig. 5(a)와 같이 전처리 순서에 따라 원수, 응집, 오존, 오존-응집의 처리 수질은 CODcr 경우 17.4mg/L에서 9mg/L, 11.5mg/L, 10.1mg/L, 8.4mg/L로, BOD 경우 0.97mg/L에서 0.33mg/L, 0.05mg/L, 0.88mg/L, 1.53mg/L로, TOC 경우 4.7mg/L에서 4.5mg/L, 4.8mg/L, 4.9mg/L, 4.1mg/L로 감소하였다. 오존-응집 공정의 여과수가 약50%의 제거를 보였다. 하지만 BOD 경우 오히려 증가하는 경향을 보였다. 이것은 유기물의 산화로 인한 BOD의 증가와 응집제의 주입으로 인한 영향으로 판단된다. Fig. 5(b)와 같이 TN과 TP의 경우 제거가 거의 되지 않았다. TP의 경우는 낮은 응집제량으로 제거가 미미하였으므로, 추후 연구에서 응집제량의 조절로 인한 추가적인 제거 효율을 분석하였다.

#### 3.4.1 처리수의 입자 크기 분석

Fig. 6(a) 및 6(b)와 같이 각각의 막여과수에 대해 입자 크기를 측정된 결과 오존-응집-MF막 처리가 모든 범위에서 가장 낮은 값을 보였다.  $5\mu\text{m}$ 이하 입자에서는 오존보다는 응집 전처리가 높은 효율을 나타냈는데 이는 응집에 의해서

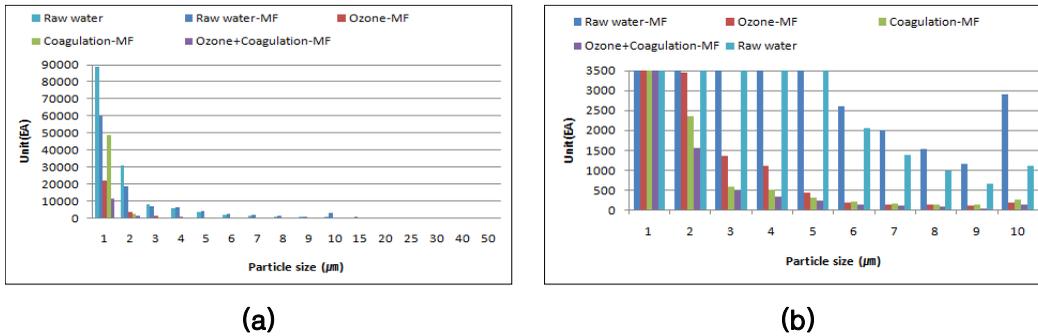


Fig. 6 Particle size distribution between (a) 1~50µm and (b) 1~10µm on treatments

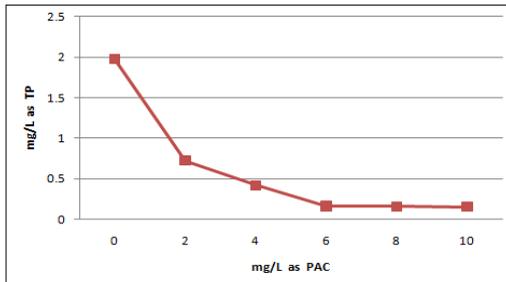


Fig. 7 TP variation of concentration on PAC concentration

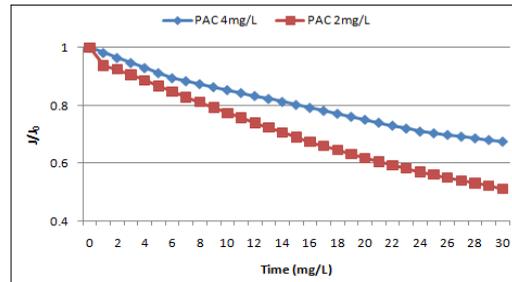


Fig. 8 Flux variation of PAC 2, 4mg/L coagulant addition

미세입자가 제거 된 것으로 판단된다. 그러나 오존의 경우는 고분자 물질의 산화처리로 인해 큰 입자성 물질이 작은 입자화 된 것으로 판단된다.

### 3.5 인제거를 위한 적정 응집제량

#### 3.5.1 적정 응집제량

Fig. 7를 보면 4mg/L as O<sub>3</sub>로 전처리 후 PAC에 대한 응집제량 산정은 TP 농도를 기준으로 하였다. 원수의 TP 경우 1.98mg/L로 현재 하수처리장 방류수 TP 기준에 부합하였다. 응집제 PAC 투입에 따른 TP는 응집제량 2mg/L에서는 0.724mg/L, 4mg/L에서는 0.416mg/L, 6~10mg/L에서는 약 0.16mg/L로 향후 하수처리장 방류수 TP 기준인 0.4mg/L를 거의 만족하였다. 따라서 본 실험에 사용된 응집제량은 PAC 4mg/L이다.

#### 3.5.2 응집제량에 따른 막투과 실험

Fig. 8을 보면 오존 전처리 후 응집을 하였을 시 PAC 2mg/L로 응집을 하였을때보다 PAC 4mg/L로 응집을 한 처리수가 막여과 시 플럭스는 805L/m<sup>2</sup>/hr로 약 200L/m<sup>2</sup>/hr 높은 것으로 나왔다. 이는 보다 높은 응집제량으로 인해 응집 플록의 크기가 커져 보다 양호한 침전성으로 플럭스의 감소율이 낮은 것으로 판단된다.

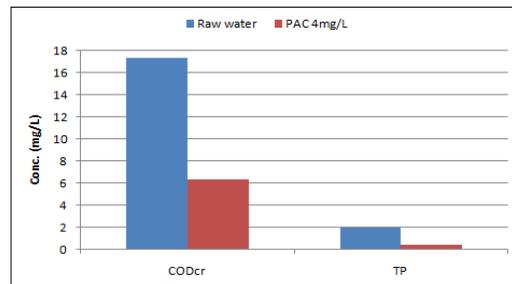


Fig. 9 CODcr and TP concentration of ozone-PAC 4mg/L-MF membrane process

#### 3.5.3 응집제량에 따른 처리수 수질 평가

Fig. 9를 보면 재선정된 응집제량을 적용한 처리수를 보면 CODcr의 경우 17.2mg/L에서 6.3mg/L로 약 63.8% 감소하였고, TP의 경우 1.98mg/L에서 0.39mg/L로 약 80% 감소하였다.

## 4. 결론

우리나라 하수처리에 있어서 3차처리가 널리 적용되어 있지만, 이는 일반적인 여과공정을 통한 3차처리이다. 또한 물의 재이용을 위해 막여과 공정을 필요로 하게 된다.

본 실험의 결과로 오존-응집-막여과 공정을 도입한다면 일반적인 여과공정이 없이 방류수질 확보와 물의 재이용을 위한 RO막여과 공정에서 전처리가 없는 원수로서 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 이를 유효하고 적절하게 이용하면 새로운 수자원 개발을 최소화 하고 다가오는 물부족 현상에 대처할 수 있는 계기가 될 수 있다고 판단된다.

본 연구에서는 오존 산화, 응집침전, 오존-응집 전처리에 따른 수질 변화와 막여과 저항을 평가하였다.

- 다양한 전처리에 따른 수질 분석 결과, 유기물의 제거 효율은 오존-응집 전처리가 17.4mg/L에서 9.3mg/L로 약 44.3%제거율로 가장 높았다.

- 전처리를 거친 실험수에 대한 막여과 플럭스를 비교한 결과, 실험시작 30분후 오존-응집 전처리공정이 가장 높은 플럭스를 유지하였다. 또한 오존 전처리 후 막여과 시 초기 높은 플럭스를 유지할 수 있었지만 공정의 중반이후 급격한 플럭스의 감소를 초래하는 것으로 나타났다.

- 막여과 저항을 분석한 결과 막 전체 저항 값인 Rt가 응집 전처리 실험수가 가장 높았고, 파울링 저항 값인 Rf 또한 가장 높았다. 이는 응집을 거친 실험수는 미세플록에 의한 막 파울링이 증가 하는 것으로 예상된다.

이상의 결과로 전처리에 따른 공정 평가를 하였을 시 오존-응집-막여과 공정이 막에 대한 가장 적은 파울링 및 높은 플럭스를 유지할 수 있고, T-P의 저감이 이루어져 막여과 시 전처리로서 오존-응집 전처리가 적합한 것으로 판단된다. 처리수질 또한 가장 낮은 농도로 하수처리시설 방류수질을 충분히 만족하는 것으로 보였다.

## 사 사

본 연구는 2009년도 서울시립대학교 교내학술연구비에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- 김영관, 진상엽, 이상희 (1999) 하수처리수 재이용의 타당성 연구, *서울시정개발연구원*
- 박병규 (2006) 응집-막여과 공정에서 응집 플록의 침착에 의해 형성된 케이크층의 공극률 예측, *서울대학교 응용화학부 박사학위논문*
- 환경부 (2008) 하수도 통계
- Amy G. L., Tan L., Davis M. K. (1991) The effects of ozonation and activated carbon adsorption on trihalomethane speciation, *Wat. Res.*, **25**, 191
- Cho, J., G. Amy and J. Pellegrino. (2000) Membrane filtration of natural organic matter: Factors and mechanisms affecting rejection and flux decline with ccharge ultrafiltration(UF) membrane, *J. Mem. Sci.*, **164**, 89-110
- Lin, C., Lin, T., Hoa, O. J. (2000) Effect of substance characteristics on UF performance, *Wat Res.*, **34**(4), 1097-1106
- Mori, Y., Oota, T., Hashino, M., Takamura, M., Fujii, Y. (1998) "Ozone-micro filtration system", *Desalination*, **177**, 211-218
- Singer P. C. (1990) Assessing ozonation research needs in water treatment, *J. AWWA*, **90**, 78
- Schafer, A. I., U. Schwicker, M.M. Fischer, A. G. Fane, and, T.D waite. (2000) Microfiltration of colliod and natural organic matter, *J. Mem. Sci.*, **171**, 151-172
- Tomaszewska, M, and Mozia, S. (2002) Removal of organic matter from water by PAC/UF system, *Wat. Res.*, **36**(16), 4137-4143