

## 막여과 고도정수처리에서 전처리공정의 비용분석

최영근, 권오성, 김찬식, 노수홍, 최영준<sup>1</sup>, 허현철<sup>1</sup>  
연세대학교 환경공학과, 서울시 상수도연구원<sup>1</sup>

### Cost Evaluation of Pre-treatment process in Membrane Advanced Drinking Water plant

Young Keun Choi, Oh Sung Kwon, Chan Sik Kim,  
Soo Hong Noh

School of Environmental Engineering, Yonsei University  
Young-June Choi<sup>1</sup>, Hyun-Chul Hur<sup>1</sup>

Waterworks Research Institute, Seoul Metropolitan Government<sup>1</sup>

#### 1. 서론

분리막을 이용한 고도정수처리는 전처리 및 후처리공정 그리고 기존 정수처리공정과 혼성시스템을 구성할 수 있는 유동성을 가지고 있는 장점이 있다. 가압식과 침지식에 대한 운전안정성과 성능평가를 위해, Eco-Star Project의 G정수장에 500m<sup>3</sup>/day 규모로 실증 플랜트를 설치하여 전 염소가 처리된 한강원수를 이용하여 가압식과 침지식 파일럿 플랜트를 운영하였다. 가압식인 경우, 원수 → 혼화/응집 → 침전 → 막여과공정으로 구성하였고, 침지식인 경우, 원수 → 혼화/응집 → 막여과 공정으로 구성되어있다.

응집제의 주입농도와 시스템의 회수율의 변화에 따른 비용을 산출하였으며, 원수의 탁도와 TMP(Transmembrane Pressure)변화를 통하여 약품사용의 효율성을 검토하였다.

#### 2. 실험재료 및 방법

전처리공정의 비용은 응집제( $C_{chemical}$ )의 사용에 대한 비용과 회수율에 대한 농축수의 증가에 따른 증가 비용( $C_{disposal}$ )을 합하여 운전비용을 구할 수 있으며, 분석 수식<sup>1-3)</sup>을 (1)~(4)에 제시하였다. Table 1은 운전비용의 분석에 사용되어진 인자를 나타냈으며, 사용

된 응집제 농도는 함량(%)을 계산에 포함시켰다. 또한 농축수의 이송을 위한 톤 당 에너지 비용은 회수율(R)에 따라 달라지므로, 에너지비용을 상수( $k$ )로 하여 분석하였으며, 회수율을 곱하여 식(4)와 같이 계산하였다. 전처리공정에서 분석된 운영비용을 유입 탁도와 TMP의 상관성을 조사하였다.

Table 1. Baseline Values of Parameters for Cost Estimations

	침지식	가압식	unit
회수율 (R)	90	95	%
$Q_f$	550	505	m <sup>3</sup> /day
$Q_d$	500	500	
$Q_p$	495	479.75	
$Q_w$	55	5.5	
$C_{cd}$	500	300	won/kg
Constant	$k$		

$$C_{oc} = C_{chemical} + C_{disposal} \quad (1)$$

$$C_{chemical} = \frac{Q_f \cdot C_{cb}}{Q_d} \quad (2)$$

$$C_{disposal} = \frac{C_{kw} \cdot \frac{P}{\eta} \cdot Q_w + C_{cb} \cdot Q_w}{Q_d} \quad (3)$$

$$C_{kw} \times \frac{P}{\eta} (\text{won}/\text{m}^3) = (1 - R) \times k \quad (4)$$

여기서,  $C_{oc}$  ; 운전비용(won/m<sup>3</sup>),  $C_{chemical}$  ; 약품 비용(won/m<sup>3</sup>)  
 $C_{disposal}$  ; 농축수량 증가에 대한 비용(won/m<sup>3</sup>)  
 $C_{cb}$  ; 약품사용농도에 대한 무게 당 가격(won/kg)  
 $Q_w$  ; 농축수량(m<sup>3</sup>/day),  $Q_f$  ; 유입량(m<sup>3</sup>/day),  $Q_d$  ; 설계용량(m<sup>3</sup>/day)  
 $Q_{kw}$  ; 톤 당 전력비용 (won·day<sup>2</sup>/kg·m<sup>2</sup>)  
 $P$  ; 펌프 유입압력 (kg/m·day<sup>2</sup>),  $\eta$  : 펌프효율  
 $R$  ; 회수율(%),  $k$  ; 농축수의 이송을 위한 톤 당 에너지 비용(won/m<sup>3</sup>)

### 3. 결과 및 토의

침지식과 가압식의  $C_{chemical}$ 은 가압식과 침지식이 각각 0.81과 0.45 won/m<sup>3</sup> 으로 응집제의 사용량이 결과에 반영된 것으로 판단된다. 반면에 운영된 회수율 즉, 가압식은 95% 및 침지식은 90%에서  $C_{disposal}$ 은 가압식이 침지식 보다 낮게 분석되었다. 이것은 상대적으로 가압식의 회수율이 높아 최종 농축수가 적은 이유이다. 회수율을 90%에서 98%로 변화시켜 예측한 결과, 가압식은 평균 0.17won/m<sup>3</sup>에서 0.04won/m<sup>3</sup>으로, 침지식은 평균 0.15won/m<sup>3</sup>에서 0.03won/m<sup>3</sup>으로, 회수율이 높아질 수록  $C_{disposal}$ 은 비례적으로 낮은 값으로 예측

되었다. 침지식은 응집제의 사용에 의한  $C_{chemical}$ 이 일정하게  $C_{disposal}$ 에 반영되어 가압식 보다 동일 회수율에서는 낮게 예측되었다.

탁도의 변화에 대한 응집제의 사용과 이에 따른 TMP의 변화를 통하여 운전비용의 경제성을 판단할 수 있다. 고탁도 시기와 TMP의 안정성을 기준으로 가압식에서 효율적인 응집제의 사용이 이루어진 기간은 6월에서 7월 말까지의 기간으로 판단되며 적용된 응집제의 농도는 1.71 ppm 이었다. 침지식의 경우 고탁도 시기에 TMP의 상승률이 이전 기간과 유사함을 나타내어, 적용된 0.37 ppm의 응집제 농도의 효율성이 나타났다고 판단된다.

#### 4. 결론

막여과 고도정수처리에서 전처리공정의 응집제( $C_{chemical}$ )와 농축수( $C_{disposal}$ )에 대한 비용을 합하여 운전비용을 분석하였다. 침지식과 가압식의  $C_{disposal}$ 는 유사한 값으로 분석되었고,  $C_{chemical}$ 은 가압식이 높게 조사되었다. 회수율의 변화에 따라 비례적으로  $C_{disposal}$ 은 증가하였으며, 동일 회수율에서 침지식이 가압식 보다 낮게 예측되었다.

#### 감사의 글

본 연구는 Eco-STAR Project (I2WATERTECH 04-2)의 지원으로 이루어졌습니다. 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Karen D. Pickering et al, Cost Model for Low-Pressure Membrane Filtration, *J. of Environmental Engineering*, 119(5), 772-797 (1993)
2. Sandeep Sethi, et al, Performance and Cost Modeling of Ultrafiltration, *J. of Environmental Engineering*, 121(12), 874-883 (1995)
3. Sandeep Sethi, et al, Optimization of Hollow-Fiber Design and Low-Pressure Membrane System Operation, *J. of Environmental Engineering*, 127(6), 485-492 (2001)

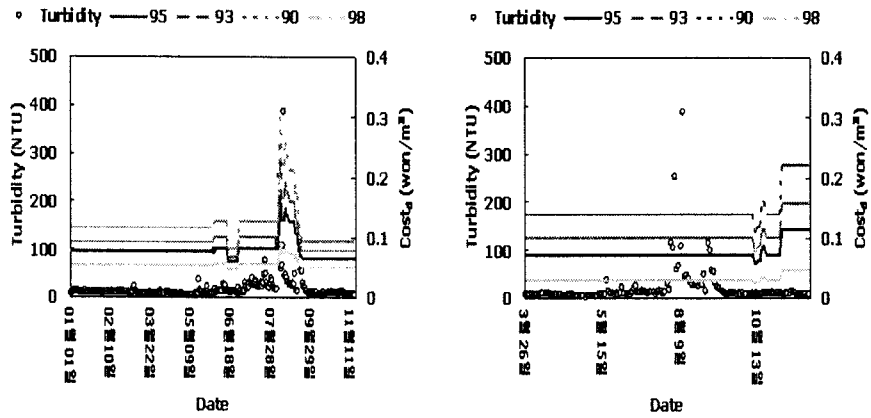


Fig. 1. Sensitivity Analysis for Effect of Recovery on  $C_{disposal}$  for Various Turbidity (Left ; pressurized, Right ; Submersed)

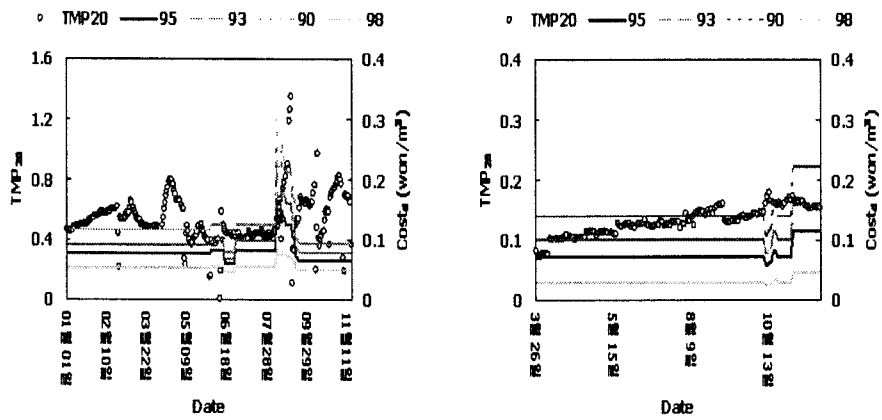


Fig. 2. Sensitivity Analysis for Effect of Recovery on  $C_{disposal}$  for Various TMP (Left ; pressurized, Right ; Submersed)