

# Strategy for efficient operation on the backwash waste treatment in membrane filtration water treatment plant

막여과 정수장 배출수처리시설의 효율적인 운영방안

Wonchae Jung · Youngbeom Yu · Sunju Lee · Yongtaik Moon\*

정원채 · 유영범 · 이선주 · 문용택\*

Water Supply Research Center, K-water Institute

한국수자원공사 연구원 상하수도연구소

**Abstract :** Membrane backwashing waste shows seasonally different characteristics and it has bad settleability differently from general backwashing waste in water treatment plant. When chemicals was injected to membrane backwashing waste, the settleability was better than chemicals was not injected. However, when settled lower sludge was not discharged, flowing sludge continuously was concentrated over a certain surface and floatation phenomena occurred according to flowing velocity. When the lower sludge was discharged continuously in the thickener to prevent floatation phenomena of turbidity materials, the depth of sludge surface was the least and the settleability increased.

**Key words :** membrane filtration, backwash waste, thickener, settle, sludge

**주제어 :** 막여과, 배출수, 농축조, 침전, 슬러지

## 1. 서론

현재 『수도법』에 의하면 막여과 정수장도 수도 시설에 해당된다. 따라서 『수질 및 수생태계 보전에 관한 법률』에서 정하는 수질오염방지시설을 설치하여야 하며(Ministry of environment, Korea, 2012), 2010년 4월 『수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙』이 개정됨에 따라, 향후 막여과 정수장을 포함한 모든 정수장 및 수처리 시설은 강화된 방류수수질기준을 만족하여야 한다(Bae and Choi, 2012). 그러나 국내의 경우 현재까지 막여과 역세배출수에 관한 실공정 적용에 따른 최적운영 기술 확보가 미흡한 실정이다.

현재 막여과 공정에서 발생하는 배출수는 계절별, 막의 종류 및 전처리방법에 따라 그 특성의 차이가 있어 실공정 운영에 따른 안정적인 방류수의 수질 확보가 매우 어렵다. 또한, 실공정에서의 막여과 역세배출수는 계절별 성상에 차이가 있으며, 일반정수장 슬러지와는 달리 침전성이 매우 불량한 특성을 갖는다.

이러한 침전성 불량으로 강화되는 방류수 수질 기준을 충족시키기 위한 운영기술이 절실히 필요하며, 농축, 탈수, 방류수 수질개선효율을 극대화하는 최적운영기술을 통한 안정적인 방류수의 방류 및 슬러지 함수율 저감을 통한 체계적인 운영 기술 확보가 필요하다.

막여과 공정은 정해진 시간에 따라 하루에 수십회의 여과와 역세척을 반복하기 때문에 급속모래여과 공정의 배출수와는 성상이 다르며, 배출

\* Received 12 May 2014, revised 12 August 2014, accepted 14 August 2014.

\* Corresponding author: Tel : +82-42-870-7552 Fax : +82-42-870-7549 E-mail : ylmoon@kwater.or.kr

수 발생량도 막여과 공정의 회수율에 따라 달라지게 되므로 현재 운영중인 막여과 역세배출수의 효율적인 처리를 위한 운영기술 개발이 필요하다.

외국의 경우 역세배출수는 하천방류, 하수도 배출, 토양 처리, 재순환, 증발법 등의 방법을 사용하여 주로 처리하며, 약품세정폐액은 일반적으로 공정 중에 처리된다(Balasubramanian, 2013). 그래서 지역법규를 준수하여 하천수에 방류하거나 하수와 함께 처리하고 있다.

그러나 국내의 경우 방류수 수질기준이 매우 엄격하여 역세배출수를 처리없이 하천에 방류하기 어려우며, 하수처리장에 연계 처리된 사례가 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 막여과 정수장 배출수 처리시설의 효율적인 운영방안에 대한 연구를 진행하였다.

## 2. 실험재료 및 방법

### 2.1 역세척 배출수의 응집

막여과 역세척배출수의 연속식 Lab-scale 농축조 실험을 진행하기 전, 역세척수의 최적의 응집조건을 찾는 Jar-test를 진행하였다. 플록(floc) 침전 실험의 바탕액으로는 G정수장의 막여과 역세배출수를 사용하였다. 응집제는 무기응집제인 PACl(poly aluminum chloride, 10%), LAS(liquid aluminum sulfate, 8%)와 유기고분자응집제인 polyacrylamide(anion)를 농축보조제로 사용하였고, 응집제 주입량별 침전성을 평가하였다. Jar-test(PB-900TM)은 기본 2 L Jar를 기준으로 급속교반은 250 rpm에서 30초간, 완속교반은 60 rpm에서 5분간 혼합한 후 60분동안 체류시간을 두었다. 0분, 30분, 60분의 시간간격으로 Jar의 상부에서 상징수를 채수하여 탁도 변화율을 측정하였다. 탁도변화율은 탁도계(HACH, 2100N)를 이용하였다.

### 2.2 회분식 농축컬럼을 이용한 한계 고형물 플럭스

막여과 정수장의 막여과 역세배출수에 대한 농축특성을 조사하기 위하여 회분식 농축 실험을 진행하였다. 농축실험은 Standard Method(APHA, 1998)에 준하여 높이 120 cm, 직경 26 cm의 원형실린더로 회분식 농축컬럼을 제작하였다. 그리고 벽면효과를 방지하기 위하여 1 cm/sec 정도로 회전하는 패들을 시험관 내부에 설치하였다.

막여과 역세배출수의 회분식 농축실험은 무약품과 약품주입 후 상호 비교하면서 진행되었다. 실험의 교반강도 및 샘플채취는 동일하게 이루어져 90분간 비교 평가되었다. 위 실험으로부터 2013년부터 강화된 방류수 수질기준 SS 10 mg/L 이내로 침전시키는데 필요한 침전지 설계인자인 월류율 즉, 표면부하량을 측정하였다.

### 2.3 연속식 슬러지 인발에 따른 농축

중력식 농축조를 이용하여 막여과 역세배출수를 농축할 때 허용가능한 고형물부하를 확인하기 위하여 Fig. 1에서 제시한 것과 같이 연속식 Lab-scale 농축조 장치를 이용하여 실험을 진행하였다. 배슬러지지에 저류된 막여과 역세배출수가 연속식으로 Lab-scale 농축조에 바로 유입되도록 라인을 구성하였다. 연속식 Lab-scale 농축조의 제원은 직경 30 cm, 유효높이(수심) 50 cm, 총 부피 45 L이다. 농축조에는 약

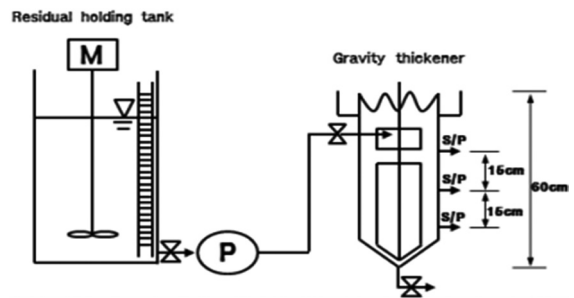


Fig. 1. Schematic diagram of the Lab-scale sludge thickener of continuous system.

1 rpm의 속도로 회전하는 패들을 설치하였고, 농축조 측벽에는 10 ~ 15 cm 간격으로 시료 채취구를 설치하였다. 그리고 농축조 바닥에서 50 cm 지점에서 라인을 통해 배슬러지에서 농축조로 유입되는 막여과 역세배출수 내 고형물을 인발할 수 있도록 농축조 하부에는 인발밸브를 설치하였다. 그리고 농축조에는 tap-water를 넣어 배슬러지에서 농축조로 유입되는 슬러지가 부상되는 현상을 관찰할 수 있도록 하였다.

실험에 사용된 배출수는 G정수장의 막여과 역세배출수를 채취하여 실험을 진행하였다. 농축조 유입배출수는 성상을 균일하게 유지하기 위하여 배슬러지에서 충분히 교반하면서 진행하였다.

연속식 Lab-scale 농축조를 운전하면서 농축조 하부의 슬러지 인발 유무에 따른 슬러지 베드층의 거동과 허용 가능한 고형물 부하를 조사하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 막여과 역세배출수의 적정 약품주입량 평가

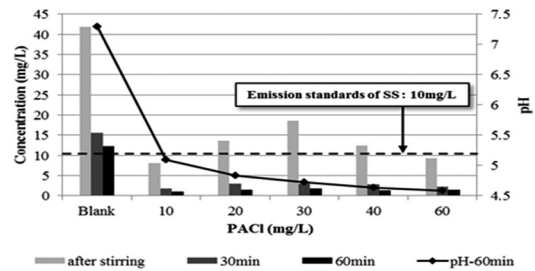
막여과 공정을 이용하는 G정수장의 막여과 역세배출수의 Jar-test를 진행하였다. PACl 및 LAS, 그리고 polyacrylamide의 적정 주입량 평가를 위해 배출수의 초기탁도를 측정 후 그 값을 바탕으로 산정하였다. Table 1은 막여과 정수장별 초기탁도 대비 선정된 약품들의 응집제 주입량 및 운전조건을 나타낸 것이다.

아래 Table 1의 조건들을 통해 Jar-test를 진행하였다.

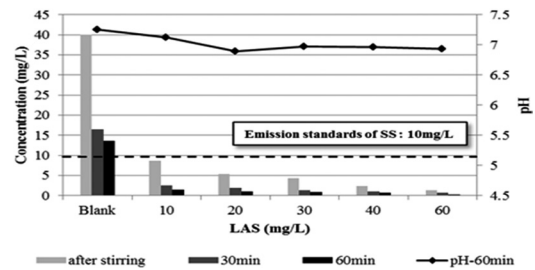
Table 1. Jar-test experimental condition according to the flocculants of G water treatment plant

flocculant		Dosage of the flocculant (mg/L)						Mix, Time
Inor- ganic	PACl	Blank	10	20	30	40	60	-Draft- 250 rpm (30 sec)
	LAS		10	20	30	40	60	
Organic	Poly-	0.25	0.5	1.0	2.5	5.0	7.5	-Detention- 60rpm (5 min)

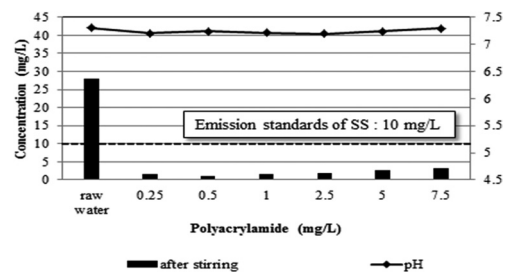
PACl 및 LAS 응집제를 주입한 G정수장의 막여과 역세배출수는 응집과 침전이 빠르게 진행되었다. 교반 후, 30분이 경과되었을 때 이미 방류수 허용기준인 10 mg/L보다 낮은 수치를 기록하였다. 막여과 역세배출수 원슬러지의 탁도 41.8 NTU와 비교하여 10 ~ 20 mg/L의 PACl을 주입하였을 때, 탁도 1 ~ 3 NTU로 약 95% 이상의 효율을 나타내었고(Fig. 2(a)), LAS는 원슬러지 탁도 40.1 NTU 대비 30 mg/L 이상 주입하였을 때, 탁도 1 NTU 이하로 약 98%의 우수한 효과를 보였다(Fig. 2(b)).



(a) Concentration of backwashing waste according to the dosage of PACl.



(b) Concentration of backwashing waste according to the dosage of LAS.



(c) Concentration of backwashing waste according to the dosage of polyacrylamide.

Fig. 2. Concentration of backwashing waste of G water treatment plant according to the dosage of inorganic polymer flocculant.

Table 2. Turbidity removal efficiency of G water treatment plant according to the dosage of flocculant (unit : %)

Dosage(mg/L)		Time(min)	Blank	10	20	30	40	60
Inorganic	PACl	after stirring	0.00	80.69	67.22	55.50	70.33	77.94
		30	62.68	95.86	92.82	92.78	93.21	94.62
		60	70.57	97.46	96.29	95.62	96.77	96.58
	LAS	after stirring	0.00	78.15	86.48	89.13	93.92	96.71
		30	58.85	93.62	95.06	96.48	97.51	98.18
		60	65.84	96.11	97.51	97.78	98.30	99.10
Dosage(mg/L)		Time(min)	0.25	0.5	1.0	2.5	5.0	7.5
Organic	Poly-	after stirring	94.62	96.42	94.27	92.83	90.68	88.89

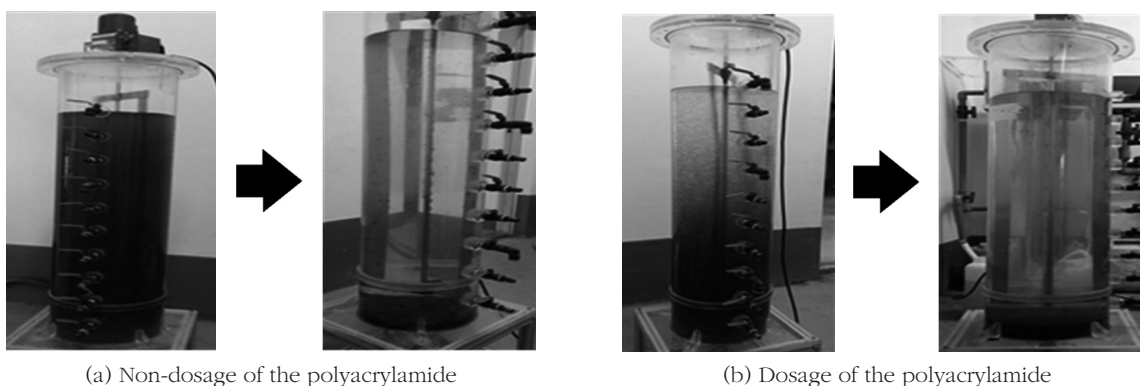


Fig. 3. Settleability assessment of backwashing waste in membrane filtration process according to the injection of polyacrylamide.

그리고 유기고분자응집제인 polyacrylamide 를 0.25 ~ 7.5 mg/L로 설정하여 주입하였다. 플록 형성은 무기응집제보다 빠르고, 플록 사이즈가 컸다. polyacrylamide를 주입하였을 경우 막여과 역세배출수 원슬러지 탁도 27.9 NTU 대비 각각 1 ~ 3 NTU로 약 95 ~ 90%의 높은 탁도제거효율을 보였다(Fig. 2(c)). 그러나 주입량이 많을수록 우수한 효과를 나타낸 무기응집제와는 달리 주입량이 많아지면 오히려 탁도제거효율이 떨어졌다.

Table 2는 G정수장의 막여과 역세배출수에 PACl 및 LAS 그리고 polyacrylamide 등 약품 추가 후, Jar-test 실험을 실시하여 얻어낸 탁도제거효율이다.

### 3.2. 막여과 역세배출수의 회분식 농축실험 결과

위 Jar-test를 통하여 측정된 약품별 적정 주입량을 바탕으로 G정수장의 회분식 농축실험

을 수행하였다. 회분식 농축실험은 G정수장의 막여과 역세배출수를 채수하여 현장에서 진행하였다. Fig. 3는 G정수장 현장에서 진행된 회분식 농축실험으로 polyacrylamide 응집제를 주입한 후 진행된 실험을 나타낸 것이다. Fig. 3(a)는 막여과 역세배출수에 약품을 주입하지 않고 실험을 진행하였으며, Fig. 3(b)는 Jar-test 실험에서 가장 우수한 효과를 나타낸 polyacrylamide 응집제를 주입하여 진행한 것이다.

무기응집제인 PACl 및 LAS, 유기고분자응집제인 polyacrylamide의 Jar-test 실험을 통한 적정약품주입량을 주입한 후 침전성을 평가한 결과, 약품을 주입하지 않은 막여과 역세배출수 원슬러지에 비하여, 초기 침전성이 우수하였다.

무기응집제의 경우, 상징수 내 부상하는 미세 입자들이 유기고분자응집제보다 상대적으로 적은 것을 발견할 수 있었다. 유기고분자응집제인 polyacrylamide는 무기응집제인 PACl과 LAS

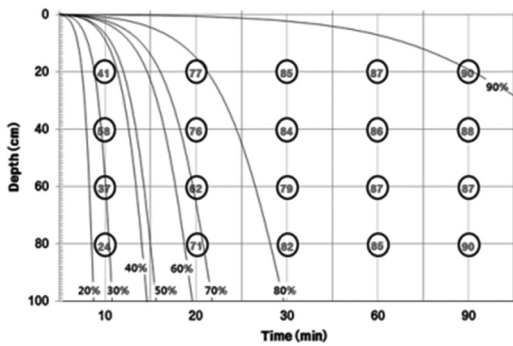
의 분자량( $M_w = \sim 10$ 만)보다 분자량( $M_w = 100$ 만 $\sim$ )이 많아, 어느정도 사이즈가 큰 플록만 선택적으로 응집하기 때문이라 판단된다. 이에 유기 고분자응집제를 사용할 경우 무기응집제보다 미세입자들이 상당히 많이 남게 된다.

회분식 농축 컬럼을 이용하여 G정수장의 막여과 역세배출수 원슬러지에 대한 각각의 응집제를 주입하였을 때 90분 동안 각 채취구에서 SS농도를 측정된 결과, PACl 응집제를 주입한 막여과 역세배출수 혼화수는 초기탁도 대비 10분 후에는 약 80%, 20분 후에는 약 95% 이상의 높은 탁도제거효율을 보였다. 그리고 LAS 응집제는 초기탁도 대비 10분 후 약 90%, 20분 후 95%로 침전성이 매우 우수하였다. 반면, 유기고분자응집제인 polyacrylamide를 주입한 경우, 침전성이 80 ~ 90%로써 무기응집제를 주입한 실험과 비교하여 저조한 결과를 나타내었다. 이

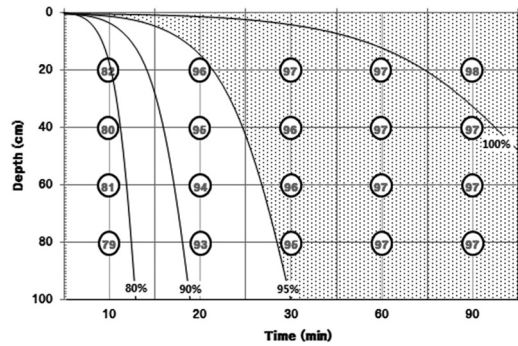
는 유기고분자응집제의 거대 분자량에 대한 성상 때문이라 판단되었다.

G정수장 막여과 역세배출수의 회분식 농축실험을 바탕으로, 응집제별 깊이와 침전시간에 따른 고형물 제거곡선을 Fig. 4에 나타내었다. 응집제를 첨가한 대부분의 막여과 역세배출수는 방류수 수질기준인 SS 10 mg/L 이하로 나타났다.

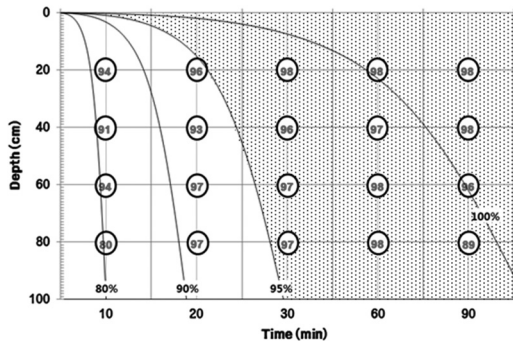
Fig. 4를 바탕으로 체류시간에 따른 표면부하율 및 SS 제거율을 측정하였다. 회분식 농축실험 장치 1M에서의 SS제거율은 각각의 그래프를 이용하여 등농도 곡선이 체류시간과 만나는 지점에서 회분식 농축실험 장치 깊이와 평행하게 선을 그어 구하였다. 응집제 종류에 따른 G정수장의 막여과 역세배출수 원슬러지의 등농도 곡선을 통해 체류시간에 따른 표면부하율과 SS 제거율은 각각 식 2-1과 2-2 의해 계산되어졌다.



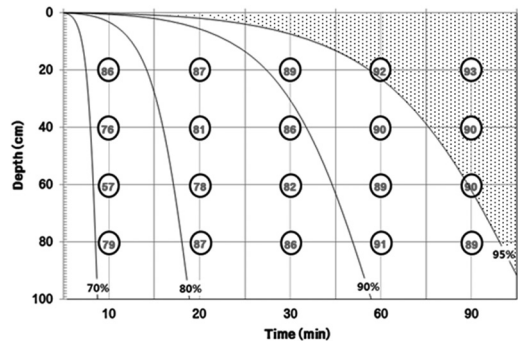
(a) Originally sample of membrane filtration backwashing waste.



(b) Membrane filtration backwashing waste according to the injection of PACl.



(c) Membrane filtration backwashing waste according to the injection of LAS.



(d) Membrane filtration backwashing waste according to the injection of Polyacrylamide.

Fig. 4. Isoconcentration curves of surface loading rate according to residence time after the injection of flocculant.

$$v_0 = \frac{Q}{A} \quad (\text{식 2-1})$$

$$= \frac{(V/t)}{A} = \frac{(AH/t)}{A} : v_0(\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}) = \frac{H}{t}$$

$v_0$  = Surface loading rate  
 A = Surface area of settling tank  
 Q = Flow  
 V = Volume, H = Height, t = Time

$R = [\text{Baseline}(\%)\text{-removal}] + [1^{\text{st}}\text{-Fraction that contributes to next higher}(\%)\text{-removal}] + [2^{\text{nd}}\text{-Fraction that contributes to next higher}(\%)\text{-removal}] + [3^{\text{rd}}\text{-Fraction ...}] + \dots$

$$R = r_0 + (\Delta r_1)(h_1/H) + (\Delta r_2)(h_2/H) + (\Delta r_3)(h_3/H) + (\Delta r_4)(h_4/H) + \dots \quad (\text{식 2-2})$$

위 식을 이용하여 막여과 역세배출수 원슬러지의 표면부하율 및 SS제거율을 구하였다. 8분에서의 표면부하율과 SS 제거율은 각각  $180 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ , 40.2%, 11분에서 표면부하율과 SS 제거율은  $130.9 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ , 48.3%로 나타났다. 이와 같은 방법으로 막여과 역세배출수 원슬러지의 체류시간에 따른 표면부하율과 SS 제거율을 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Surface loading rate and suspended solid removal efficiency of membrane filtration backwashing waste

Residence time(min)	[a] Surface loading rate( $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ )	[b] SS removal efficiency(%)	Coefficient of correlation [b] = x × [a]
8	180.0	40.2	- 0.36 $R^2 = 0.9589$
11	130.9	48.3	
14	102.9	61.4	
16	90.0	65.5	
19	75.8	72.9	
23	62.6	79.5	
29	49.7	85.1	

막여과 역세배출수 원슬러지의 경우, 29분이 경과된 후, 85.1%의 SS제거율을 나타내었다. 이와 같은 방법으로 Fig. 4의 각 응집제 주입 후 체류시간에 따른 표면부하율과 SS 제거율을 Table 4에 나타내었다.

PACl 및 LAS 응집제를 주입하였을 때, G정수장의 막여과 역세배출수 원슬러지보다 SS 제거율이 상대적으로 향상되는 것을 확인할 수 있었다. 응집제를 주입하였을 경우, 30분 경과한 후 각각 약 97.4% 및 97.6%의 높은 효율을 보였다. 이러한 결과를 바탕으로, 무기응집제는 막여과 역세배출수의 침전성을 향상할 수 있음을 판단할 수 있었다. 반면에 유기고분자응집제인 polyacrylamide를 주입하였을 경우, 원슬러지보다 SS제거율이 오히려 떨어진 것을 확인할 수 있었다. 이것은 앞서 언급한 바와 같이, 수백만 분자량을 가지는 유기고분자응집제의 선택적인 결합으로 인하여 막여과 역세배출수 내 미세플록이 부상하고 있기 때문이라 판단된다.

Fig. 5는 위 Table 4를 바탕으로 표면부하량에 따른 SS제거율을 작도한 것이다.

PACl을 사용하였을 경우, 80% 이상의 SS 제거율을 얻기 위해서는 표면부하량  $110.8 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$  이하여야 하며, 체류시간은 적어도 13 min 이상 되어야 한다. 그리고 LAS는 표면부하

Table 4. Surface loading rate and suspended solid removal efficiency according to the injection of flocculant

Flocculant	Residence time(min)	[a] Surface loading rate( $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ )	[b] SS removal efficiency(%)	Coefficient of correlation [b] = x × [a]
Inorganic	PACl	13	110.8	-0.15 $R^2 = 0.9753$
		18	80.0	
		30	48.0	
Inorganic	LAS	10	144.0	-0.11 $R^2 = 0.9976$
		18	80.0	
		29	49.7	
Organic	Poly-	8	180.0	-0.11 $R^2 = 0.9618$
		18	80.0	
		58	24.8	

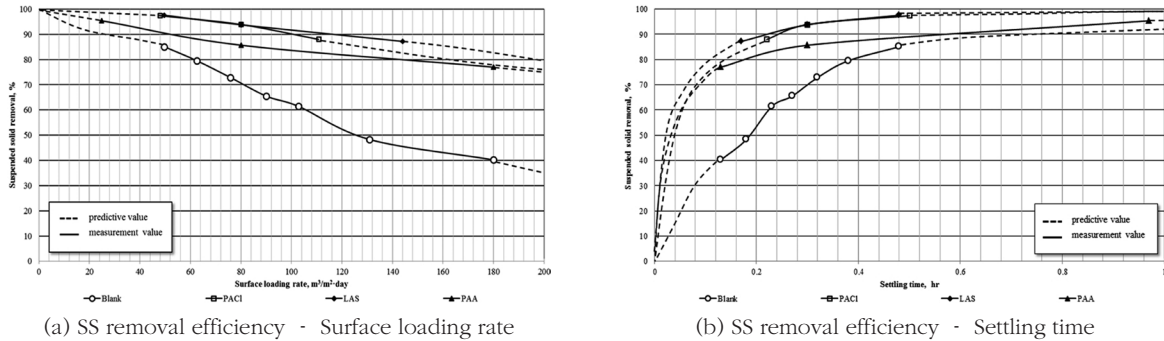


Fig. 5. Suspended solid removal efficiency according to the surface loading rate and settling time of membrane filtration backwashing waste.

량이 144.0 m³/m²·day 이하여야 하고, 체류시간은 10 min 이상 되어야 한다.

유기고분자응집제인 polyacrylamide는 SS 10 mg/L 이하로의 안정적인 하천방류를 위해서는 표면부하량 80 m³/m²·day 이하, 체류시간은 최소한 18 min 이상이어야 한다.

### 3.3 Lab-scale 농축조 실험

무약품 및 약품 처리에 대한 Lab-scale 농축조를 이용하여 회분식, 연속식으로 실험을 수행하였다. 배출수 응집에 사용된 약품으로는 Jar-test를 통해 얻어진 유기고분자응집제 polyacrylamide(anion)을 사용하였다. 회분식 및 연속식 Lab-scale 농축조에 대한 지속적인 슬러지 유입에 따른 하부슬러지의 인발 유무에 따라 의미를 달리 하였다.

가. 무약품 처리에 의한 침전성 평가

위 표면부하율 평가 결과값 80 m³/m²·day 을 기준으로 G정수장의 막여과 역세배출수를 채수하여 연속식으로 Lab-scale 농축조에 유입하였다. 막여과 공정을 이용하고 있는 G정수장의 막여과 역세배출수의 농축조로의 펌프를 통한 연속적인 유입에 따른 고형물의 침전은 매우 불량하였다. 배슬러지지에 막여과 역세배출수를 일정량 투입한 후, 농축조에는 침전성 및 부상하는 플록을 관찰하기 위하여 tap-water를 채웠으며, 하부슬러지의 인발밸브는 닫은 상태로 실험

Table 5. Settleability assessment by the no-handling of membrane filtration backwashing waste used to continuous Lab-scale thickener (unit : %)

Time(min)	S/P	G water treatment plant		
		High	Middle	Under
0		85.5	75.5	68.0
10		57.0	41.8	37.8
20		29.5	26.3	25.8
30		42.3	23.0	23.5

험을 진행하였다. 초기탁도 40 NTU에서 깊이별 막여과 후 역세배출수의 침전특성 평가 결과, 농축조로 슬러지 유입 후, 샘플링 포트(sampling port, S/P) 상, 중, 하부에서 슬러지를 채취하여 측정된 결과, 0분에서 5.8 ~ 12.8 NTU, 10분 경과 후 17.2 ~ 24.9 NTU, 20분 경과 후 28.2 ~ 29.7 NTU, 30분에서 23.1 ~ 30.6 NTU로써 시간이 지남에 따라 농축조의 수질 및 슬러지 유입 후 월류되는 방류수의 수질 모두 매우 불량한 것으로 나타났다. Table 5은 막여과 역세배출수 원슬러지의 연속식 Lab-scale 농축조 실험 중 탁도제거효율을 나타낸 것이다.

나. 약품처리에 의한 침전성 평가

G정수장의 막여과 역세배출수와 유기고분자응집제인 polyacrylamide를 주입한 후, 연속식 Lab-scale 농축조 실험을 실시하였다. 물론, 농축조 하부 밸브는 닫혀진 상태로 진행하였다. 응집제 및 막여과 역세배출수는 실험이 진행될 때까지 지속적으로 교반이 이루어졌으며, 이는 배

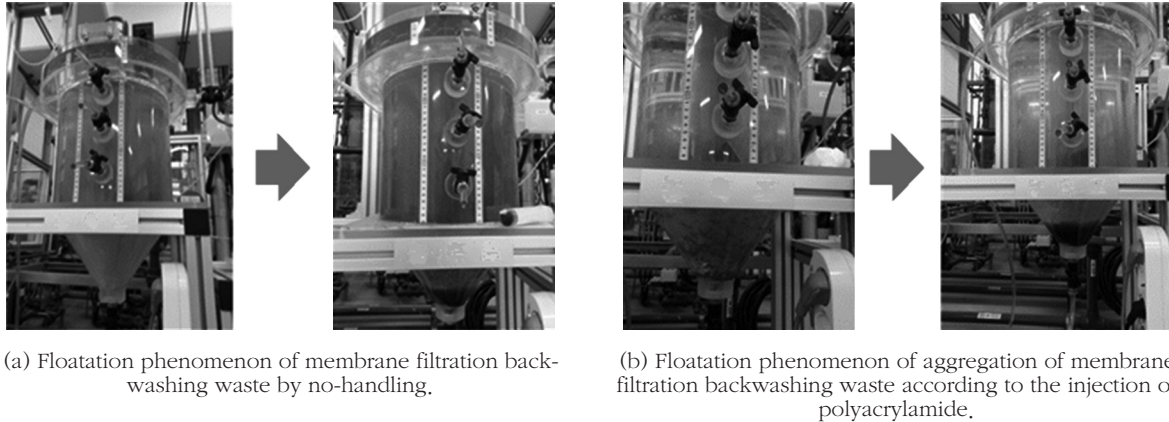


Fig. 6. Continuous Lab-scale thickener test of membrane filtration backwashing waste according to the non-flocculant or injection of polyacrylamide.

슬러지에서 응집된 슬러지들이 배슬러지 내 에서 침전이 되지 않도록 하기 위함이다. 펌프의 라인을 통해 응집된 슬러지는 1,250 ml/min의 유속으로 농축조에 계속 유입하였다. 연속적으로 농축조에 유입된 슬러지는 일정 계면 이상 쌓이면서 부상현상이 발생하였다. Fig. 6는 막여과 역세배출수 원슬러지 및 polyacrylamide를 주입한 막여과 역세배출수의 Lab-scale 농축조로의 유입 후, 시간에 따른 슬러지 부상현상을 나타낸 것이다.

Fig. 6에서 나타낸 바와 같이, 약품처리를 하지 않은 막여과 역세배출수 원슬러지의 경우에는 침전이 이루어지기 전에 농축조에 유입된 슬러지의 부상현상이 발생되어, 시간이 경과됨에 따라 농축조의 상태는 더욱 심각해졌다. 반면에 약품을 주입한 실험에서는 원수보다는 침전성이 향상되는 모습을 관찰할 수 있었다. 그러나 시간이 흐름에 따라 슬러지가 일정 계면 이상 침전이 되면, 지속적인 유입 및 유속에 의하여 침전된 고형물이 부상되는 현상이 발견되었다. 이는 탁도제거효율을 통해서 더욱 자세히 평가될 수 있다. Table 6은 약품을 처리한 후 막여과 역세배출수의 연속식 Lab-scale 농축조 실험의 탁도제거효율을 나타낸 것이다.

Table 6. Settleability assessment by the injection of polyacrylamide of membrane filtration backwashing waste used to continuous Lab-scale thickener (unit : %)

Time(min)	S/P	G water treatment plant		
		High	Middle	Under
0		98.2	98.2	97.7
10		87.0	76.7	64.2
20		74.7	69.2	58.2
30		72.2	69.7	57.0

Table 6에서와 같이 polyacrylamide 와 막여과 역세배출수 혼화수의 경우 농축조로 처음 유입되었을 경우에는 약 95% 이상을 보인 반면, 10분 후 65 ~ 85%, 20분 후 58 ~ 75%, 30분 후 57 ~ 72%까지 탁도제거효율이 떨어지는 것으로 나타났다.

다. 농축조내 슬러지 계면깊이 최소화

위의 부상현상을 해결하기 위하여 본 연구에서는 농축조내 하부 슬러지의 계면깊이를 최소화 또는 미세입자가 부상하지 않도록 일정하게 유지하기 위하여 농축조 하단의 하부 밸브를 열어 침전된 하부슬러지가 인발되도록 하였다. 배슬러지에서 막여과 역세배출수는 1,250 ml/min의 유량으로 농축조로 유입되고, 농축조내 하부슬러지는 380 ml/min의 유량으로 밖으로 인발하였다. Fig. 7는 농축조 하부를 통하여 침전 슬러지가 일정 계면 깊이를 유지하면서 인



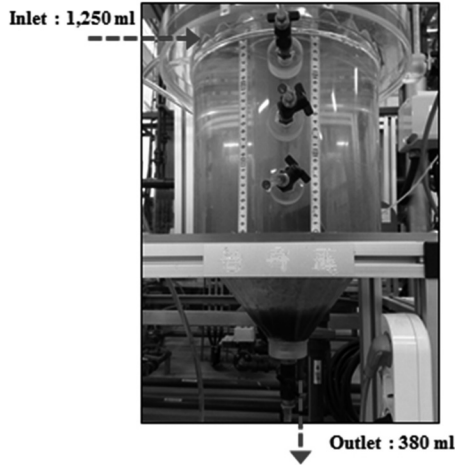


Fig. 7. The minimize of sludge interface depth of thickener.

발되는 현상을 나타낸 것이다. 농축조내 슬러지의 탁도 변화는 위 실험과 동일하게 샘플링포트를 통하여 채수한 뒤, 탁도계를 이용하여 측정하였다.

위 실험과 마찬가지로, 막여과 역세배출수 원슬러지와 polyacrylamide 응집제 주입 혼화수 등 두 실험을 진행하였다. 하부슬러지의 계면 깊이를 최소화하는 연속식 Lab-scale 농축조 실험결과, 막여과 역세배출수 원슬러지는 20 ~ 30분의 시간이 경과된 후 농축조내 탁도가 초기탁도 40 NTU와 유사하게 나타났다. 그러나 응집제인 polyacrylamide를 주입한 막여과 역세배출수 혼화수의 경우에는 20 ~ 30분 후 농축조 하부에서 탁도가 조금 높아지는 경향은 보였으나, 상부와 중부에서는 약 70 ~ 80%의 탁도제거효율을 보였다. Fig. 8은 슬러지 계면 높이를 최소화한 후 막여과 역세배출수와 응집제를 주입한 막여과 역세배출수 혼화수의 탁도제거효율이다.

위 방법을 토대로 진행된 연속식 Lab-scale 농축조 실험에 대한 이해를 돕고자 농축조에서 발생하는 현상을 Fig. 9에 나타내었다. 먼저, 막여과 역세배출수의 원슬러지는 농축조에 지속적인 유입으로 인하여 침전되지 않고 부상하는 현상이 발견되었다. polyacrylamide 응집제를 주

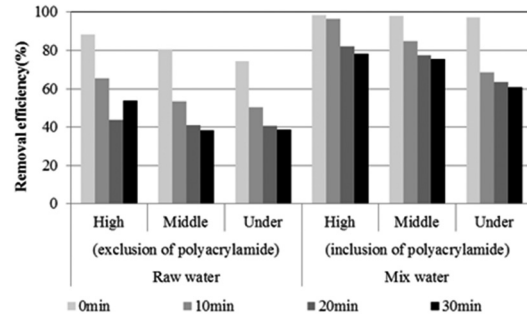


Fig. 8. Turbidity removal efficiency according to minimize the interface depth of membrane filtration backwashing waste of G water treatment plant.

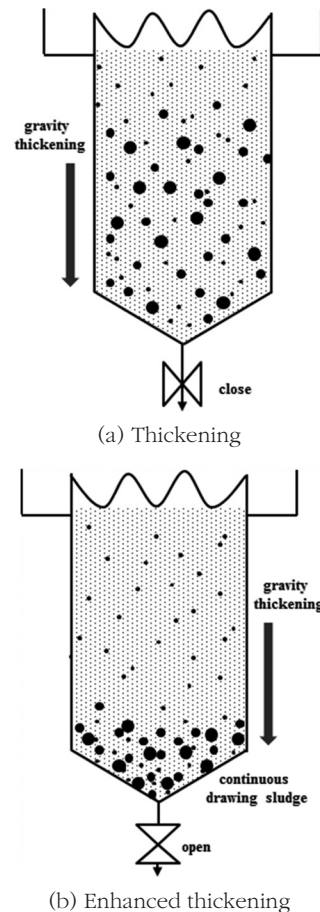


Fig. 9. Minimized of the sludge interface depth by drawing to the lower sludge.

입한 막여과 역세배출수의 경우, 하부슬러지를 인발하지 않고 슬러지를 지속적으로 유입하였을 경우, 일정 계면까지는 침전이 되는 듯 하였으나

그 이상에서는 원슬러지와 마찬가지로 부상하는 현상이 발견되었다. 반면에 polyacrylamide 응집제를 주입한 후, 하부슬러지를 인발한 경우에는 미세플록을 제외한 대부분의 슬러지의 인발로 상징수의 탁도제거효율이 높게 나타났다.

즉, 막여과 역세배출수의 침전성을 증가시키기 위해서는 1차적으로 응집제를 사용하여 고형물의 입자 사이즈를 증가시키고, 2차적으로는 농축조의 하부슬러지를 인발하므로써 슬러지 계면깊이의 최소화가 필요하다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 막여과 공정으로 운전 중인 G 정수장을 대상으로 원수와 연계하여 막여과 역세배출수의 수질 특성을 조사하였으며, 회분식 농축실험과 연속식 Lab-scale 농축조 실험을 수행하여 막여과 정수장 배출수처리시설을 효율적으로 운영하기 위한 방안을 연구하였다.

1. 막여과 배출수의 80% 이상의 SS 제거율을 갖기 위해서는 응집제 종류에 따라 다음과 같은 운영인자가 요구된다. 무기응집제에 의한 처리 시 PACl의 경우 표면부하량  $110.8 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$  이하에 체류시간 13분 이상이어야 하고 LAS의 경우 표면부하량  $144.0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$  이하에 체류시간은 10분 이상이어야 한다. 또한, 유기고분자응집제에 의한 처리 시 polyacrylamide의 경우 표면부하량  $80 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$  이하에 체류시간 18분 이상이어야 한다.
2. 막여과 배출수에 대하여 무약품 처리 시 시간이 지남에 따라 농축조 수질 및 슬러지 유입 후 월류되는 방류수 수질이 모두 불량하게 나타났다. 막여과 배출수 초기탁도 40 NTU에서 깊이별 침전특성 결과, 0분에서 5.8 ~ 12.8 NTU, 10분 경과 후 17.2 ~ 24.9 NTU, 20분 경과 후 28.2 ~ 29.7 NTU, 30분에서 23.1 ~ 30.6 NTU로 월류에 의한 침전이 불량한 것으로 나타났다.

3. 침전된 하부슬러지를 인발하지 않고 농축할 경우 연속적으로 농축조에 유입된 슬러지가 일정계면 이상 쌓이면서 유입유속에 따라 부상현상이 발생되었다. 유기고분자응집제인 polyacrylamide를 주입한 막여과 배출수 혼화수의 경우 농축조로 처음 유입되었을 경우에는 약 95% 이상의 높은 탁도 제거효율을 보인 반면, 10분 후 65 ~ 85%, 20분 후 58 ~ 75%, 30분 후 57 ~ 72%까지 탁도 제거효율이 떨어졌다.
4. 막여과 역세배출수 유입슬러지의 유속에 따른 탁질 물질 부상현상을 막기 위하여 농축조내 하부슬러지를 연속적으로 인발할 경우 슬러지 계면 깊이가 최소화됨으로써 침전효율이 향상되었다. 하부슬러지를 인발하지 않았을 때에 탁도가 5.8 NTU에서 23.1 NTU로 크게 불량하여진 것과는 다르게 시간이 경과함에 따라 농축조 상부의 탁도가 2.8 NTU에서 5.7 NTU로 안정적인 방류수 처리가 가능한 것으로 나타났다.

#### 참고문헌

Bae, B.U. and Choi, K.H. (2012) Design of Residual Treatment Process with Filter Back-wash Recycle System, *Journal of Korean Society on Water Environment(KSWE)*, 28 (1), 109 - 114.

Bae, B.U. and Shen, X.H. (2009) Thickening Characteristics of Residual from a Ceramic Membrane Water Treatment Plant, *Journal of Korean Society on Water Environment (KSWE)*, 25(5), 764 - 767.

Balasubramanian, P. (2013) A Brief Review on Best Available Technologies for Reject Water(brine) Management in Industries, *International Journal of Environmental Sciences*, 3(6), 2010 - 2018.

Chung, P.G., Kwak, D.H., Lee, E.J. and Kim, Y.C. (1997) Flootation-like Phenomena in Water Treatment Processes adopted Conventional Gravity Sedimentation, *Journal of Korean Society of Environmental Engi-*

- neers*, **19**(11), 1465 - 1474.
- Kwak, J.W. (1998) Physical-Chemical Principle and Practice of Water Treatment, p.493, Ji-Sam, Seoul.
- K-water Institute (2011) Water Treatment Engineer Comprehensive.
- Ministry of Environment (2012) Standards for the Installation of Membrane Filtration Water Treatment Facilities.
- Moon, Y.T., Seo, I.S., Kim, H.S., Park, N.S. and Ahn, H.W. (2006) Evaluation of Design Parameter on Residual Treatment Facilities in Membrane Water Treatment Plants, *Journal of the Korean Society of Water and Wastewater*, **20**(1), 138 - 146.
- Tom, D.R. and Paul, A.R. (1995) Unit Operations and Processes in Environmental Engineering. 2nd Ed, p. 219 - 239, PWS Publishing Company, Boston.