

응집·한외여과 공정에서 응집조건 결정에 관한 연구

문성용[†] · 이상협 · 김승현* · 문병현**

한국과학기술연구원 수질환경 및 복원연구센터

*경남대학교 토목공학과

**창원대학교 환경공학과

Effect of Coagulation Condition on Coagulation/Ultrafiltration Membrane Process

Moon, Seong-Yong[†] · Lee, Sang-Hyup · Kim, Seung-Hyun* · Moon, Byung-Hyun**

Water Environment and Remediation Center, Korea Institute of Science and Technology

*Department of Civil Engineering, Kyungnam University

**Department of Environment Engineering, Changwon University

(Received 31 March 2005, Accepted 12 May 2005)

Abstract

In this research, coagulation was employed as the pretreatment for membrane process. The effective coagulation conditions were decided after the discussion of different coagulant doses and mixing conditions, etc. Raw water was taken from Nakdong River. The best operation occurred when G value was 230 s^{-1} and the slow mixing lasted around 5 minutes at G value was 23 s^{-1} . To investigate the optimum coagulant dosage, the optimum organics removal was target as organic removal reduces membrane fouling effectively than particle removal. This result indicated that organics are more important causes than turbidity for membrane fouling. However, turbidity becomes an important factor after certain amount of organic matters is removed.

keywords : Coagulation, Fouling, Mixing condition, Ultrafiltration, Membrane process

1. 서론

정수처리에 적용된 분리막 공정의 효율은 처리수질, 막오염, 세척방법, 전력비 등에 의해 결정된다. 이들 중 막오염은 분리막의 수명과 운전효율을 결정하는 중요한 인자이며, 운전과정에서 제어가 가능한 조절인자이다. 정수처리 공정에서 막오염 물질은 주로 현탁성 무기물과 용해성 유기물 그리고 미생물로 구분할 수 있는데, 이들의 유입량이 클 경우 막오염은 빠르게 진행되며, 세척 횟수가 증가하고 처리수량이 감소하게 되어 운전 효율이 떨어진다. 이를 경우 적절한 전처리공정이 요구된다. 국내의 경우 대부분이 지표수를 수원으로 하고 있기 때문에 오염 부하가 상당히 높은 편이며, 전처리 공정 없이 한외여과(ultrafiltration, UF)이나 나노여과(nanofiltration, NF)를 적용하기 힘든 조건이다. 따라서 정수처리에 분리막 공정을 적용하기 위해서는 적절한 전처리 공정이 필요하다.

현재까지 보고되고 있는 전처리 공정으로는 정밀여과(microfiltration, MF)와 응집(Coagulation) 그리고 분말활성탄(powder activated carbon, PAC) 공정 등이 있다. 이들 중 응집은 기존 정수장 시설이기 때문에 적용성이 용이하

고, 침전공정과 결합할 경우 현탁물질과 수중 유기물(Natural organic matter, NOM) 제거율이 높은 특징을 가지고 있다. 실제 운영중인 정수장 수질조사 결과에서도 탁도의 경우 95% 이상, TOC의 경우 50% 이상이 제거되는 것으로 알려져 있으며(문, 2002), 황 등(1999)은 낙동강을 이용한 실험에서 급속교반만으로 DOC 제거율이 약 40%에 이른다고 발표하였다. 이러한 점에서 고탁도의 원수를 수원으로서 사용하고 있는 국내 정수장에 분리막 공정을 적용할 경우 전처리는 응집공정이 효과적일 것이라 판단된다.

그렇지만 현재까지 분리막 단독공정은 물론이고 응집·분리막 조합공정에 관한 연구 성과는 많지 않은 실정이다. 국내의 경우 분리막 공정이 실제 정수처리에 적용된 사례가 없고, 아직은 모형플랜트 규모의 막분리 단독공정으로 연구가 진행되고 있는 것이 대부분이며, 국외의 경우 응집공정을 전처리공정으로 적용한 사례나 연구결과가 발표되고 있지만 대부분이 응집제 주입 유무에 의한 효율 향상을 비교한 정도이다. Carroll 등(1999)은 Alum과 PAC를 이용한 정밀여과 실험결과에서 응집제를 주입할 경우 NOM의 제거로 인해 막오염이 감소된다고 발표하였으며, Lin 등(1999)의 연구결과에서도 PAC를 이용한 실험에서 응집제의 주입이 막오염 저감에 효과적인 것으로 발표하였다. 그렇지만 일본 수도기공의 Jimbo(2003)는 현장실험 결과를 근거로 응집제의 주입은 원수의 특성에 따라 적절한 주입

[†] To whom correspondence should be addressed.
moonjada@hanmail.net

량과 주입방법이 결정되어야 한다고 발표하였다. 따라서 현재까지는 응집·분리막 공정의 운전인자에 대한 연구가 미진한 상태이며, 응집조건, 분리막 공정의 운전인자 등의 결정에 관한 연구가 요구된다.

본 연구는 응집·한외여과 조합공정을 정수처리에 적용하는 것을 목적으로 응집을 한외여과의 전처리로 적용하고 응집공정의 운전인자인 응집제 주입량, 교반조건 등에 대한 검토를 통해 막오염 저감을 위한 효율적 응집조건을 제시하고자 하였다.

2. 실험 방법 및 시스템

실험은 낙동강을 수원으로 사용하고 있는 광역상수도 시설의 유입 원수를 대상으로 하였다. 원수 수질과 응집조건 및 한외여과 공정의 운전 조건은 아래와 같다.

2.1. 원수 수질

실험에 사용된 원수는 낙동강 하류에서 직접 채수하여 사용하였다. 낙동강 하류의 수질은 1990년 이후 상수원수 3등급(BOD 농도기준 3-6 mg/L)을 유지할 정도로 오염이 심각한 실정이며, 악화된 수질오염으로 인하여 하류의 대부분 정수장에서 고도정수처리공정을 적용하고 있다. 특히, 국내의 다른 하천에 비해 복잡한 유역이용 상황으로 인하여 계절별 수질특성이 다양한 양상을 나타내고 있으며, 하류의 부영양화가 심각한 실정이다(김 등, 2002). 본 연구가 진행된 기간동안의 채수지점 수질을 Table 1에 제시하였다.

Table 1. Water quality data measured during the study period

Items	Unit	Concentration
Turbidity	NTU	7.0-16.5(12.3)*
TOC	mg/L	2.9-5.2(3.6)
UV ₂₅₄	cm ⁻¹	0.059-0.089(0.068)
SUVA	L/mg · m	1.8-3.1(2.0)
pH	-	8.1-9.0(8.5)
Alkalinity	mg/L as CaCO ₃	63-72(68)
Chl-a	mg/m ³	5.9-172.9(97.9)

* () is average value.

Table 1에 의하면 수질항목들의 일별 농도차가 크게 나타났다. 전반적으로 탁도와 TOC 농도가 높은 것으로 조사되었다. 탁도 값은 대부분 10 NTU 이상으로 높게 나타났으며, TOC는 2.9-5.2 mg/L의 분포를 보였다. 유기물의 응집 효율을 예상할 수 있는 SUVA(Specific UV absorbance) 값은 2.0 L/mg · m으로 친수성을 띄는 것으로 조사되어 응집에 의한 제거율이 다소 낮을 것으로 예상된다(Edzwald et al., 1990). 조류의 농도를 나타내는 클로로필-a 농도는 상당히 높은 편으로 3월초에 최대 172.9 mg/m³ 까지 측정되었다.

수질조사 결과 고탁도로 인한 막오염 유발을 막기 위해

응집 전처리 공정의 적용이 효과적일 것으로 판단되며, 유기물은 친수성 성질이 강하여 응집에 의한 제거 효율을 크게 기대할 수 없지만 최적 응집조건 도출을 통해 효과적인 제거가 이루어진다면 막오염 저감에 많은 도움이 될 것으로 판단되었다.

2.2. 응집실험

실험에 사용된 응집제는 기존 정수장에서 가장 많이 사용하고 있는 Al(III) 계의 황산반토(sodium sulfate, [Al₂(SO₄)₃ · 16H₂O, Alum])이며, 실험은 Phipps&Bird사의 PB-900 모델을 이용한 Jar-test로 진행하였다. 교반은 급속교반과 완속교반으로 구분하고, 급속교반은 속도경사(G)값을 변화시키면서 1분간 실시하였으며, 완속교반은 30 rpm(G=23 s⁻¹)에서 교반시간을 다양하게 적용하여 지속 시간에 따른 응집 및 막오염 특성을 관찰하였다. 모든 응집조건에서 침전은 30분으로 동일하게 적용하였다.

2.3. 한외 여과 장치의 구성 및 운전조건

한외여과 공정은 유입펌프, 순환펌프, 분리막 그리고 계측장치로 구성된다. 유입펌프와 내부순환 펌프는 정량운전으로 유입수량 및 투과수량이 일정하게 운전된다. 따라서 운전시간이 지속되면서 막 표면의 오염이 진행되고, 시스템의 운전압력이 점차 증가하게 된다. 본 연구에 적용된 한외여과 장치의 개략도를 Fig. 1에 제시하였다. 연구에 적용된 분리막은 내압형 중공사막(Hollow fiber)으로 막내부로 원수가 유입되어 막을 통과하여 외부로 유출되는 형태(Inside-out flow)이며, 순환펌프에 의해 막내부에 일정한 유속을 유지하게 하는 십자흐름(Cross flow)을 적용하였다. 이때 막내부 선속도(Linear velocity, LV)는 0.2 m/s를 유지하였다. 분리막의 특징과 운전조건을 Table 2에 제시하였다.

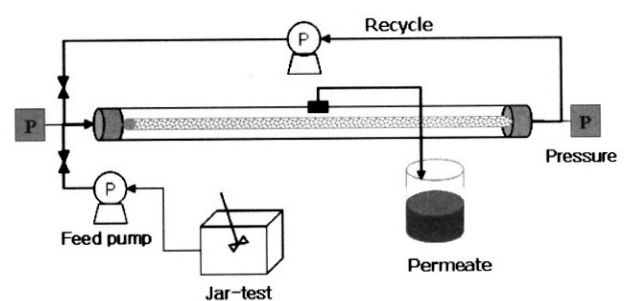


Fig. 1. Schematic diagram of lab scale membrane pilot system.

Table 2. Operating condition in this lab scale test

Items	Unit	Condition
Material	-	Polysulphone
Pore size	μm	< 0.01
Inlet-size	mm	1.0
Flux	L/m ² · hr(LMH)	100±10 (at 25°C)
Operating pressure	kPa	25~50
LV (linear velocity)	m/s	0.2

3. 결과 및 고찰

응집공정의 영향인자는 원수수질, 응집제 종류 및 주입량, 교반조건, 침전시간 등이다. 원수수질은 처리대상 수원에 의해 결정되는 인자이고, 실제 응집공정에는 응집제 종류와 주입량, 교반조건 등이 변동인자로 조절이 가능하다. 본 연구에서는 이러한 변동인자들을 다양하게 적용하여 막오염 저감을 위한 최적 응집조건을 제시하고자 하였다. 교반조건은 급속교반 강도와 완속교반 지속시간을 중점적으로 조사하고, 응집제 주입량은 황산반토를 이용한 응집실험을 통해 몇 개의 주입량을 우선 선정하여 각 주입량 조건에서 막오염 변화를 조사하여 최적 주입량을 제시하였다.

3.1. 교반 강도와 지속시간의 결정

3.1.1. 급속교반 강도 결정

급속교반 시간을 1분으로 동일하게 적용하고, 속도경사 값을 변화시켜 적정 강도를 결정하였다. 적용된 교반 강도 (G) 값은 100, 230, 500 s⁻¹이다. 급속교반 후 완속교반 (G=23 s⁻¹) 5분, 침전 30분을 동일하게 적용하였다. 이때 주입된 응집제는 황산반토 30 mg/L이다. 응집 실험 후 상등액을 분리막으로 유입시켜 운전시간에 따른 시스템 내부의 운전압력을 관찰하였다. Fig. 2에 교반 강도별 분리막 공정의 운전압력 변화를 제시하였다. 이때의 원수 수질은 탁도 10.4 NTU, UVA-254 0.081 cm⁻¹이었다.

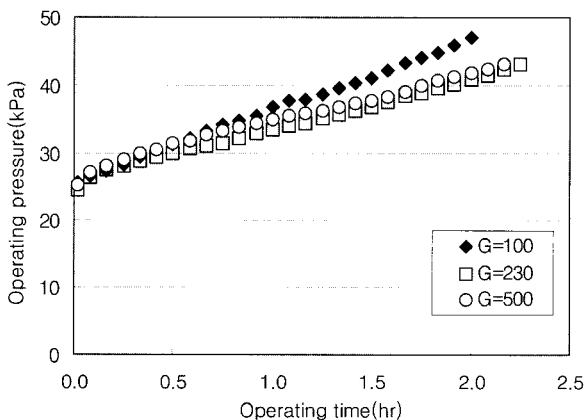


Fig. 2. Variation of operating pressure as a function of velocity gradient at rapid mixing.

교반강도를 달리한 응집 · 침전공정의 처리수를 분리막에 유입시킨 결과를 나타낸 Fig. 2에 의하면 급속교반 강도가 막오염에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 속도경사 값이 100 s⁻¹일 때의 운전압력 증가가 가장 빠르게 나타났고, 230 s⁻¹와 500 s⁻¹에서는 유사한 압력증가를 나타내었다. 교반강도가 낮을 경우 충분한 응집이 이루어지지 않아 유입수의 오염 부하가 커지기 때문이다. Fig. 2의 결과에서 적정 속도경사 값은 약 230 s⁻¹라고 판단되며, 더 큰 속도경사에서는 추가적인 막오염 저감 효과를 기대할 수 없다는 것을 알 수 있다. Fig. 2의 결과를 수질인자들을 이용하여 검토

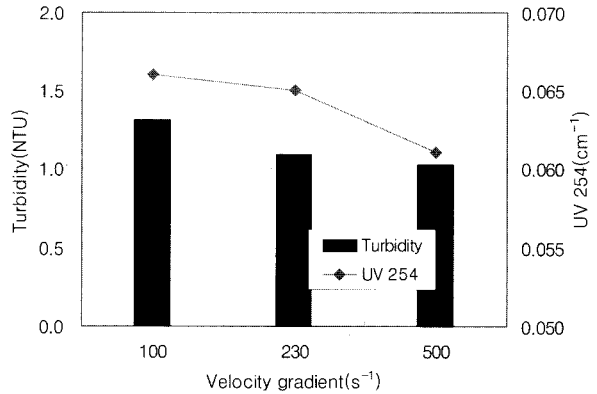


Fig. 3. Variation of UVA-254 and Turbidity as a function of velocity gradient at rapid mixing.

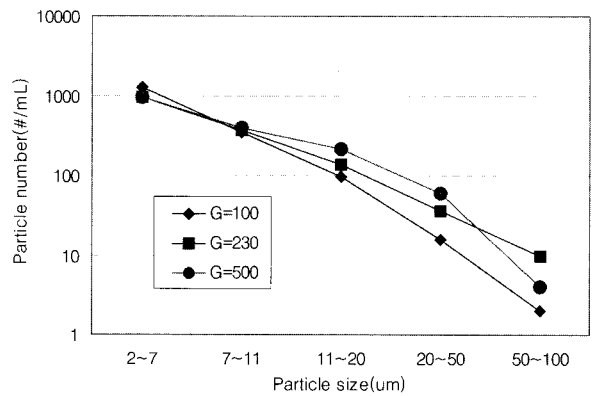


Fig. 4. Variation of Particle number as a function of velocity gradient at rapid mixing.

하였다. Fig. 3과 Fig. 4에 한외여과 장치 유입수 수질을 나타내었다.

Fig. 3과 Fig. 4에서 급속교반 강도가 응집 · 침전공정의 효율에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 속도경사 값이 100 s⁻¹인 경우 탁도와 유기물 농도가 높고, 입자분포에서도 작은 입자의 수가 많은 반면 큰 입자의 수가 상대적으로 작은 것으로 나타나 충분한 응집이 이루어지지 않고 있음을 알 수 있다. 속도경사 값이 500 s⁻¹과 230 s⁻¹인 경우 비슷한 입자분포를 가지지만 50~100 μm 크기의 입자수는 500 s⁻¹에서 상대적으로 작게 나타났다.

분리막 유입수의 수질 분석 결과 막오염은 유입수의 유기물 농도와 현탁물질 모두의 영향을 받는 것으로 조사되었다. 유기물 농도를 나타내는 UVA-254의 경우 속도경사 값 230 s⁻¹와 500 s⁻¹에서 0.065 cm⁻¹과 0.061 cm⁻¹로 일정한 감소를 나타냈고, 탁도 값 또한 압력증가율은 높은 상관성을 보이고 있다. 또한 전체 입자 분포와 압력증가의 관계는 뚜렷하게 발견되지 않지만 입자 크기가 2-7 μm인 미세입자의 분포와 막오염이 높은 상관성을 가지는 것을 발견할 수 있다. 2-7 μm 크기의 입자수는 G값 100 s⁻¹에서 1,254개, 230 s⁻¹에서 954개, 500 s⁻¹에서 965개로 Fig. 2의 압력증가를 변화에 직접적인 영향을 미치는 것으로 조사되었다. 이상에서 본 연구에 사용된 하천수의 경우 급속교반의 최적 조건은 속도경사 값 230 s⁻¹ 범위에서 결정되었으

며, 수질 분석 결과 유기물 농도에 의한 영향이 적게 나타났고, 탁도 값과 2-7 μm 이하의 미세 입자수에 영향을 크게 받는 것으로 나타났다.

3.1.2. 완속교반의 지속시간 결정

Jar 실험을 통해 완속교반의 지속시간에 따른 막오염 형태를 압력증가로 관찰하였다. 실험에 사용된 응집제 및 주입량은 황산반토 30 mg/L였고, 급속교반은 3.1.1절의 결과를 바탕으로 G값 230 s^{-1} 에서 1분간 실시하였다. 완속교반 시간은 0, 5, 30분을 적용하여 연속 응집·침전 공정을 통해 직접 분리막 공정에 유입시켰다. 분리막 공정의 운전결과와 수질 분석결과를 Fig. 5와 Fig. 6에 제시하였다.

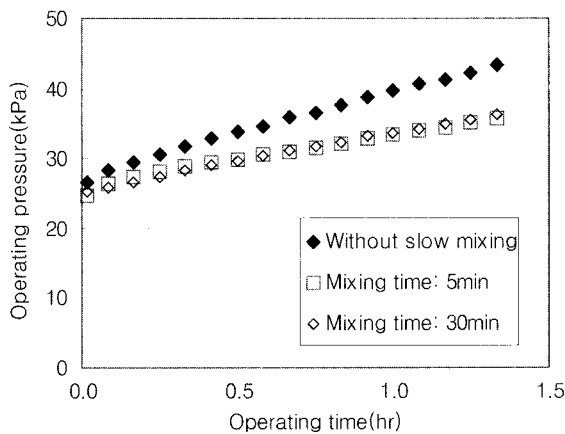


Fig. 5. Increase in pressure by slow-mixing time.

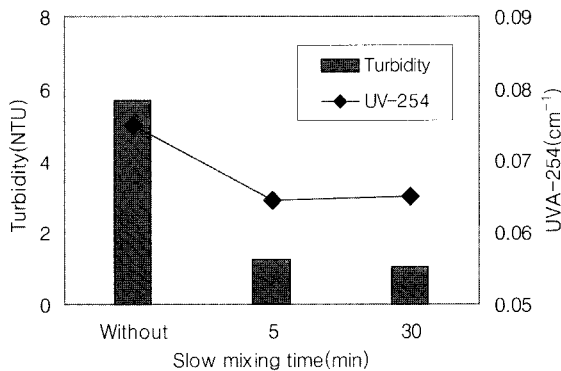


Fig. 6. Variation of UVA-254 and Turbidity as a function of retention time at slow mixing.

Fig. 5에 의하면 막오염에 대한 완속교반 지속시간의 영향을 살펴본 결과 급속교반 실시 후, 완속교반을 적용하여 막오염을 감소시킬 수 있었다. 그렇지만 5분 이상의 교반 조건에서는 추가적인 막오염 감소는 기대할 수 없었다. 이상에서 본 연구의 조건에서 교반시간은 약 5분 내외가 적절하다고 판단된다.

분리막에 유입되는 탁도와 UVA-254 값을 제시한 Fig. 6에 의하면 두 수질인자 모두 완속교반의 실시로 농도가 크게 감소하였다. 탁도는 완속교반을 실시하지 않을 경우의 5.7 NTU로 응집·침전에 의한 제거가 거의 이루어지지 않

은 반면 완속교반을 실시한 경우는 1.2 NTU와 1.0 NTU로 높은 제거율을 나타내었다. Fig. 5의 운전압력 증가와 비교하면 운전압력 증가가 유입수 수질에 직접영향을 받는 것을 알 수 있다. 즉, 완속교반의 실시로 유입수 내의 현탁물질과 유기물질의 양이 동시에 감소하여 막오염 증가율이 낮아진 것으로 판단된다. 교반시간 5분과 30분을 비교할 경우 두 조건에서 수질이 유사하기 때문에 압력증가 형태가 비슷하게 나타났다.

Table 3. Water quality data measured during the study

Slow mixing time(min)	Turbidity (NTU)		UVA-254 (cm^{-1})	
	Feed	Permeate	Feed	Permeate
Without mixing	5.69	0.10	0.075	0.068
5 min	1.25	0.06	0.065	0.064
30 min	1.00	0.04	0.061	0.062

* Raw water quality: turbidity(10.8 NTU), UVA-254(0.086 cm^{-1})

* Coagulation condition: alum(30 mg/L), rapid mixing($G=230 \text{ s}^{-1}$, 1 min)

3.2. 응집제 주입량 결정

응집제 주입량은 몇 종류의 주입량을 우선 선정한 뒤, 각 주입조건에서 연속 응집·한외여과 공정의 운전을 통해 적정 주입량을 결정하였다. 주입량 선정 방식은 연속식 응집·침전 실험을 통해 다음의 세 가지 조건을 기준으로 결정하였다. 첫 번째(Case I)는 최적의 현탁물질 제거를 목적으로 국내 정수장에서 응집·침전 처리수의 수질기준으로 적용하고 있는 탁도 1 NTU를 기준으로 주입량을 결정하였고, 두 번째(Case II)는 최적 유기물 제거율을 목적으로 미국 EPA의 D/DBP 법령에 의해 TOC-Alkalinity matrix에서 제시한 목표 제거율을 기준으로 주입량을 결정하였다 (USEPA, 1999). D/DBP 법령에 의하면 실험에 사용된 원수의 목표 제거율은 40%이다. 마지막으로(Case III) pH 5.5를 기준으로 하여 주입량을 결정하였다. pH 5.5는 응집에 의한 천연유기물질 제거의 최적 pH로 알려진 범위이다 (Krasner et al., 1995). 이렇게 결정된 세 종류의 주입량 조건에서 응집·한외여과 혼성 공정을 적용하여 막오염 특징을 살펴보았다. 응집제 주입량 선정을 위해 실시한 연속 응집·침전 공정의 운전 결과를 Fig. 7에 제시하였고, 전술한 각 조건에 의해 결정된 주입량은 Table 4와 같다.

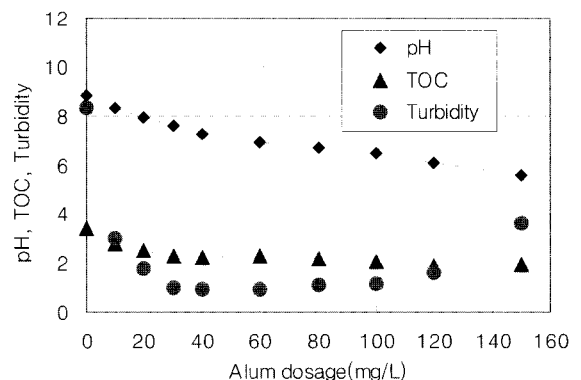


Fig. 7. Determination of case I, II and III.

Table 4. Comparison of alum dosage to reach different coagulation condition

Condition	Alum dosage (mg/L)	Water quality		
		pH	Turbidity (NTU)	TOC (mg/L)
Case I	30	6.9	1.0	2.29
Case II	100	6.3	1.2	2.06
Case III	150	5.6	3.6	1.98

* Raw water quality: turbidity(9.6 NTU), TOC(3.42 mg/L)

Table 4에서 탁도를 기준으로 주입량을 결정할 경우 유기물 농도는 다소 높게 나타났다. 반면 유기물 제거를 기준으로 결정된 100 mg/L 주입점에서는 유기물은 물론이고 탁도 값 또한 1.2 NTU로 최저값인 1.0 NTU와 비슷한 것으로 나타났다. pH 5.5를 기준으로 결정된 최대주입량에서는 유기물 농도는 낮지만 탁도가 높은 결과를 나타내는 것으로 조사되었다. Fig. 8에 응집제 주입량별 운전압력 변화를 제시하였다. 또한 이때의 분리막 유입수 및 처리수의 수질을 Table 5에 제시하였다. 이때의 응집조건은 급속교반 1분, 230 s⁻¹, 완속교반 5분, 23 s⁻¹이며, 침전을 30분간 모두 동일하게 적용하였다.

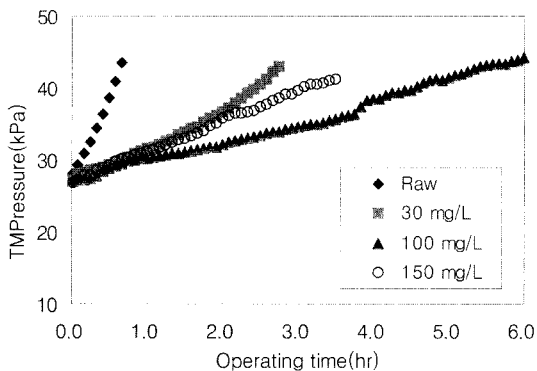


Fig. 8. Variation of operating pressure as a function of alum dosage.

Table 5. Water quality data after coagulation pretreatment and ultrafiltration

Condition	After coagulation pretreatment			After ultrafiltration	
	pH	Turbidity	UVA-254	Turbidity	UVA-254
Raw water	7.2	17.2	0.076	0.07	0.067
Case I	6.9	1.0	0.054	0.06	0.054
Case II	6.3	1.6	0.043	0.05	0.042
Case III	5.6	2.4	0.040	0.06	0.039

* Coagulation condition: rapid mixing(G=230 s⁻¹, 1 min) slow mixing (G=23 s⁻¹, 5 min), sedimentation(30 min)

Fig. 8에 의하면 황산반토의 경우 최적주입량은 유기물 제거율을 기준으로 선정된 100 mg/L인 것으로 나타났고, pH 5.5의 조건에서는 오히려 압력증가율이 커져서 현탁물질 제거를 기준으로 결정된 30 mg/L의 결과와 비슷한 압력 증가를 나타내었다. 이 결과는 Case I과 Case II의 비교에서 분리막 공정에서 막오염은 현탁물질 보다는 유기물의

농도에 의해 결정되는 것으로 설명이 가능하지만 Case III의 경우에서처럼 낮은 유기물 농도에도 막오염이 빠르게 진행되는 것은 실제 처리공정에서는 현탁물질 역시 막오염에 중요한 원인이 될 수 있다는 것을 보이고 있다. 위의 경우에서 막오염에 미치는 pH와 입자 특성의 영향을 예상할 수 있지만 아직 그 원인에는 접근하지 못하였다.

황산반토를 이용한 응집 전처리 공정을 통해 막오염을 크게 감소시킬 수 있었다. 평균 압력증가율(단위시간 압력증가량, kPa/hr)은 응집제를 주입하지 않을 경우 23.2 kPa/hr였지만, 응집제 주입에 의해 2.9~5.4 kPa/hr까지 크게 감소하였다. 이것은 응집공정이 막오염 원인물질 제거에 효과적이라는 것을 설명하고 있으며, Table 5의 결과에서 보는 바와 같이 유기물과 현탁물질이 상당량 제거되면서 분리막 공정의 오염 부하를 감소시켰고, 막오염의 원인물질을 충분히 제거하였기 때문이다. 특히, 한외여과나 정밀여과 공정에서는 수중 유기물이 중요한 원인 물질이며, 유기물의 특성을 소수성과 친수성으로 구분하여 설명하면 더 구체적인 해석이 가능하다. Collins 등(1985)의 연구에 의하면 응집에 의해 유기물의 50% 이상까지 제거가 가능한 것으로 보고 되고 있으며, 제거되는 유기물은 친수성 보다는 소수성에 가깝고 분자량이 큰 것이 대부분이며, 유기물에 의한 막오염은 주로 소수성 물질에 의해 발생하는 것으로 알려져 있다. 이것은 하천수를 대상으로 실시한 응집·한외여과 실험에서 밝힌 강 등(2002)의 연구결과와 Fan 등(2001)이 정밀여과 공정(microfiltration, MF)에서의 천연유기물질(natural organic matter, NOM) 제거에 관한 연구결과로부터 확인할 수 있다. 따라서 응집공정은 한외여과의 주요 원인 물질인 소수성 유기물질을 상당부분 제거할 수 있기 때문에 효과적인 전처리 공정이라고 판단할 수 있다.

이상에서 하천수를 대상으로 실시한 응집·한외여과 연속 실험에서 응집제 주입량과 막오염의 관계를 검토한 결과, 응집제 주입량은 응집공정에서 유기물 제거를 기준으로 선정하는 것이 바람직한 것으로 밝혀졌으며, 막오염의 원인에 있어서 유기물질이 현탁물질 보다 중요하게 작용하지만 응집에 의해 일정량의 유기물이 제거된 이후에는 현탁물질이 막오염에 중요한 원인인 것으로 나타나 현탁물질 또한 막오염의 중요한 원인 물질이라고 판단된다. 응집 전처리 공정에 의해 막오염을 크게 감소시킬 수 있었는데, 이것은 분리막 공정의 유입 부하를 감소시키는 것은 물론이고 응집공정이 막오염의 주요 원인물질로 알려진 소수성 유기물 제거에 효과적이기 때문인 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 하천수를 대상으로 응집·한외여과 정수처리 공정을 개발하기 위한 목적으로 막오염과 응집조건과의 관계를 조사하여 최적의 응집조건을 제시하는 것을 목적으로 연구를 진행하였다. 특히, 교반 강도와 시간 그리고 응집제의 주입량 결정 방법 및 수질 인자들에 의한 막오염 특성을 조사하였다. 한외여과의 전처리로 적용된 응집공정의 조

건 결정과 수질인자에 따른 막오염 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 본 연구에 적용된 실험 조건에서 급속교반은 교반강도 값(G)을 100, 230, 500 s^{-1} 의 조건을 비교한 결과 230 s^{-1} 에서 가장 효과적이었고, 급속교반을 동일하게 실시한 이후 완속교반을 적용한 결과 교반시간 5분 내외가 효과적이었다. 또한 교반강도와 교반시간의 최적 조건이 존재하는 것을 알 수 있었다.
- 2) 응집·한외여과 공정에서 응집제 주입량 결정을 위해 현탁물질과 유기물 제거를 기준으로 세 가지 주입량을 우선 선정하고, 각 주입량에서 막오염 변화를 관찰한 결과 유기물 제거율을 기준으로 주입량을 결정하는 것이 가장 효과적이었다. 즉, 응집·한외여과 혼성공정을 적용할 경우 응집제 주입량은 응집공정에서 적정 유기물 제거율을 기준으로 결정하는 것이 바람직하다.
- 3) 응집 전처리 공정에 의해 막오염을 크게 감소시킬 수 있었는데, 이것은 분리막 공정의 오염물 부하를 크게 감소시켰고, 막오염의 주요 원인물질로 알려진 소수성 유기물이 효과적으로 제거되었기 때문인 것으로 판단된다.
- 4) 일정량의 유기물질이 응집에 의해 제거된 조건에서는 현탁물질의 농도가 막오염에 중요한 역할을 하였다.

참고문헌

- 강입석, 정철우, 한승우, 막의 재질에 따른 유기물질 성상별 흡착 특성, *대한환경공학회*, **24**(8), pp. 1339-1348 (2002).
- 권은미, 유명진, UF를 이용한 용존성 유기물질 제거시 운전 조건이 파울링에 미치는 영향, *대한환경공학회지*, **22**(7), pp. 1183-1191 (2000).
- 김미숙, 정영륜, 서의훈, 송원섭, 낙동강 부영양화와 수질환경요인의 통계적 분석, *한국조류학회지*, **17**(2), pp. 105-115 (2002).
- 문병현, 김승현, 이향인, 응집 현상에 따른 오염물질 제거 및 입자 형태 특성: Alum을 사용한 경우, *대한환경공학회지*, **22**(7), pp. 1263-1271 (2000).
- Jimbo, 막: 정수처리 공정의 새로운 전환, 한국물환경학회 물환경-막분리기술 심포지움, 서울, pp. 81-87 (2003).
- 황덕홍, 김동윤, 낙동강 수계에 대한 정수처리공정에서 응집공정의 DOC 제거특성, *상하수도학회지*, **13**(2), pp. 66-73 (1999).
- Carroll, T., King, S., Gary, S. R., Bolto, B. A. and Booker, N. A., The Fouling of Microfiltration Membranes by NOM after Coagulation Treatment, *Water Research*, **34**(11), pp. 2861-2868 (1999).
- APHA, AWWA, WPCF, *Standard Method for the Examination of Water and Wastewater 20th Ed.*, Washington DC, USA (1998).
- Collins, M. R., Amy, G. L. and King, P. H., Removal of Organic Matter in Water Treatment, *ASCE National Conference on Environmental Eng.*, Boston, July 1-3, pp. 850-864 (1985).
- Edzwald, J. K. and Benschoten, J. E., Aluminum Coagulation of Natural Organic Matter, Chemical water of wastewater treatment, Springer-Verlag, Berlin, pp. 341-359 (1990).
- Fan, L., Harris, J. L., Roddick, F.A. and Brooker, N. C., Influence of the Characteristics of Natural Organic Matter on the Fouling of Microfiltration Membrane, *Water Research*, **35**(18), pp. 4455-4463 (2001).
- Krasner, S. W. and Amy, G., Jar-test Evaluation of Enhanced Coagulation, *J. AWWA*, **87**(10), pp. 93-107 (1995).
- Lin, C. F., Huang, Y. J. and Hao, O. J., Ultrafiltration processes for Removing Humic Substances, *Water Research*, **33**(5), pp. 1252-1264 (1999).
- Mallevalle, J., Odendaal, P. E. and Wiesner, M. R., *Water Treatment Membrane Processes*, McGraw-Hill, chapter 4, 16 (1996).
- Mulder, M., *Basic Principles of Membrane Technology*, KLUWER ACAD-EMIC PUBLISHERS, chapter 2-4 (1996).
- US EPA, *Enhanced Coagulation and Enhanced Precipitative Softening Guidance Manual*, EPA 815-R-99-012, chapter 2 (1999).