

응집제 주입에 따른 NOM과 저압막의 막오염 특성에 관한 연구

A study on the fouling characteristics of low-pressure membranes and NOM with coagulation pretreatment

박상혁¹ · 홍종현² · 유명진¹ · 구자용^{1*}

Sang-Hyuk Park¹ · Jong-Hyun Hong² · Myong-Jin Yu¹ · Ja-Yong Koo^{1*}

1. 서울시립대학교 환경공학부, 2. 효성에바라

(2010년 3월 23일 접수 ; 2010년 4월 6일 수정 ; 2010년 4월 9일 채택)

Abstract

This study was carried out to compare the performances of hydrophobic and hydrophilic membranes in the filtration of the pretreatment waters using coagulants such as PAC and PAHCs, and to investigate the influence of NOM characteristics on the fouling of membranes. As a result, the hydrophobic fraction was more effectively removed by PAHCs, however the transphilic and hydrophilic fraction were more effectively removed by PAC on NOM removal. Raw water showed the highest response in the range of humic substances, and pre-coagulated waters with PAC and PAHCs followed. It was also observed that the fouling effect for a hydrophobic membrane was greater than that of a hydrophilic membrane with a similar pore size, due to fouling caused by adsorption. Foulants causing significant flux decline were alcoholic compounds (polysaccharide-like) and humic substances including aromatic groups. Especially, it appeared that alcoholic compounds such as polysaccharide-like substances which mostly remained after coagulation pretreatment had most influence on fouling. It was found that fouling were influenced by each fraction NOM components depending on coagulants used. And PAHCs was more efficient for membrane fouling than PAC.

Key words : Membrane fouling, NOM(Natural Organic Matter), Coagulation, PAC, PAHCs

주제어 : 막오염, 자연유기물질, 응집, PAC, PAHCs

1. 서론

막여과공정은 입자성 물질, 유기물질, 무기염 등을 제거하고, 관망에서 미생물의 재성장을 억제함으로써 안전하고 안정적인 물을 생산할 수 있는 장래성이 있는 기술이다 (Al-Ahmad 등, 2000). 그러나 막여과공정을 광범위하게 적용하기에는 몇 가지 문제점이 있으며, 가장 중요한 문제 중 하나로서는 막표면 또는 세공의 오염으로 인하여 막투수

성이 감소하는 것이다. 특히 막의 오염으로 인한 여과효율의 저하는 막의 투과유속과 막의 표면적 및 세척조건 등의 막여과공정의 설계조건에 큰 영향을 미친다(Kaiya et al. 2000). 수처리 공정에 있어서 막여과공정을 폭넓게 적용하기 위해서는 막오염 현상을 정확하게 이해하고, 조절해야 할 필요가 있으며 막오염을 제어하여 운전효율을 높이려는 연구가 계속적으로 진행되고 있다.

특히, 정밀여과막과 한외여과막의 경우 공극보다 큰 입자

* Corresponding author Tel:+82-2-2210-2624, Fax:+82-2-2244-2245, E-mail: jykoo@uos.ac.kr(Koo, J.)

성 물질이나 미생물에 대해서는 제거효율이 높은 것으로 알려져 있으나 공극보다 작은 용존성 유기물질의 경우 제거효율은 높지 않으며, 이러한 용존성 유기물질 중 NOM은 막표면과의 상호작용으로 인하여 가장 영향력 있는 막오염 물질로 보고되고 있다(Kim 등 2006; Lee 등, 2005; Laine 등, 1989).

NOM을 제거하기 위한 방법 중 응집공정은 막여과시 입자들의 결합으로 케익층의 투수성을 증가시키거나 세공막힘을 예방하고, 플러크내에 용존성물질의 흡착특성에 의해 막여과의 파울링을 감소시킴으로서 막의 오염물질 부하를 감소시키는데 효과적이라고 보고되고 있다(Wiesner and Laine, 1996). 또한 분자량, 전하밀도, 소수성도 등의 NOM의 특성과 원수의 물리화학적 특성 그리고 약품종류, 약품주입율, 급속혼화강도와 시간 등과 같은 응집조건에 따라서 응집공정의 효율이 달라진다(Letterman 등, 1999).

응집 공정에 사용되는 응집제로는 표면적이 상대적으로 넓고 흡착효율이 뛰어난 흡착제인 Alum 계열이 주로 사용되어 왔다. 국내의 경우도 PAC(Poly aluminum chloride)가 일반적으로 사용되어 왔으며, 최근에는 신규 응집제인 PAHCs (Poly aluminum hydroxy chloro sulfate)에 대한 사용빈도가 높아지고 있는 추세이다. 신규응집제인 PAHCs는 PAC 보다 염기도가 높은 것이 가장 큰 특징으로서, 염기도가 높으면 반응성이 크고 alkalinity 강하율이 낮기 때문에 응집제 주입으로 인한 pH 변화가 상대적으로 적은 특성 때문에 주로 여름철 고탁도시에 주로 사용되어 왔으나 최근에는 평상시에도 사용빈도가 증가하고 있는 추세이다(서울특별시 상수도연구소, 2006).

그러나 현재까지 막여과 공정의 도입을 위한 전처리 연구로서 PAC 응집제에 대한 막여과 성능과 NOM 특성 연구는 계속적으로 진행되어 왔으나 신규 응집제인 PAHCs에 대한 연구는 미흡한 실정이며, PAHCs 응집제의 사용이 계속적으로 증가되고 있는 현시점에서 막여과의 전처리 공정으로서의 응집공정에 대한 평가가 필요할 것으로 판단된다. 따라서 본 논문에서는 기존에 주로 사용되고 있는 응집제인 PAC와 최근 사용량이 증가하고 있는 PAHCs를 이용하여 응집침전수의 NOM의 특성변화와 이에 따른 저압막에서의 여과성

능 및 NOM의 특성변화가 막오염에 미치는 영향에 대해서 평가하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구는 현재 국내에서 주로 사용하고 있는 응집제인 PAC와 신규응집제인 PAHCs의 막여과의 전처리공정으로서의 비교 및 평가를 위하여 각각의 응집제를 이용한 응집침전수의 NOM의 특성변화와 이에 따른 저압막에서의 여과성능 및 막오염 특성에 대하여 연구를 수행하였으며, 재료 및 실험방법은 다음과 같다.

2.1 원수특성 및 응집조건

실험에서 사용된 원수는 A 취수장의 전염소 처리가 되지 않은 한강원수와 이를 응집제 PAC와 PAHCs로 응집/침전한 상정액을 각각 실험에 사용하였다. 응집제 종류에 따른 실험수에 대한 최적 응집제 주입량은 jar-test를 통하여 결정하고, 각각의 실험수는 탁도, 용존유기탄소(DOC: dissolved organic carbon), UV 흡광도 등을 측정하였으며, 사용된 응집제의 특성은 Table 1과 같다.

원수와 응집제 PAC 및 PAHCs로 동일한 혼화조건에서 각각 응집된 전처리수는 수중의 용존상태의 유기물질이 막여과 효율에 미치는 영향을 알아보고자 입자상 물질을 배제하기 위해 각각을 0.45 μ m membrane filter로 여과한 후 맵브레인의 feed water로 사용하였다. 막투과 실험에 사용된 실험원수의 수질은 Table 2와 같다.

2.2 저압막과 여과장치의 구성

막재질과 공극에 따른 막투과율의 감소를 비교하기 위해서 한외여과막을 친수성과 소수성으로 재질이 각기 다른 원형 평막 형태로 미국의 Millipore사에서 제조한 것을 사용하였다. 실험에 사용된 막의 특성은 Table 3에 나타내었다. 막오염에 따른 투과율 감소실험은 Dead-end형 교반여과장치(stirred cell filtration unit; Model 8200, Amicon, USA), 교반기, 투과수 용기, 전자저울로 구성하였으며, 일정압력(14psi)에서 stirred-cell을 통과한 투과수를 15초

Table 1. Characteristics of PAC and PAHCs coagulants

	Al ₂ O ₃ (%)	Basicity(%)	Molecular formula	Gravity(20°C)	Viscosity(cp)
PAC	17	35 ~ 60	Al(OH) _x (Cl) _y (3 = x + y)	1.36	66
PAHCs	12.5	70 이상	Al ₁₃ (OH) ₂₈ Cl ₉ SO ₄	1.3	38

Table 2. Water quality of raw and treated waters^a

Parameter	RAW	PAC	PAHCs
Optimal dosage	-	13 ppm(v/v)	18 ppm(v/v)
DOC (mg/L)	1.70	0.84	1.00
UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.060	0.024	0.028
SUVA (L/mg · m)	1.76	1.42	1.34
pH	7.8	7.7	7.7
Alkalinity(mg/L)	34.0	32.2	32.6

^a Filtered with 0.45 μ m MF filter before analysis

Table 3. Specifications and properties of membranes

Membrane Type	U F	
	HPO	HPI
Code	PBHK	YM100
Nominal pore size	100kDa	100kDa
Materials	PES ^a	RC ^b
Permeate area (cm ²)	28.7	28.7

^a Polyethersulfone, ^bRegenerated cellulose

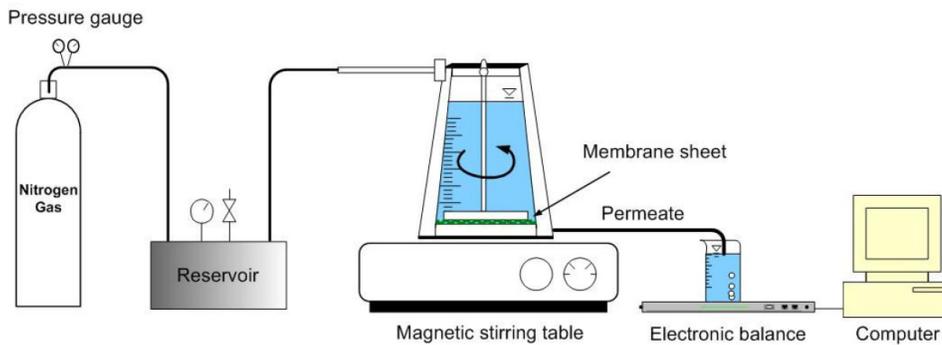


Fig. 1. Schematic diagram of membrane stirred cell system

간격으로 체크하여 투과율을 측정하였으며, 장치에 대한 모식도는 **Fig. 1**과 같다.

2.3 NOM의 특성분석

2.3.1 NOM 분리

본 논문에서는 응집공정에서 NOM의 거동특성을 분석하기 위해 흡착 및 추출실험을 US. AWWA Standard Method 5510C XAD Method의 방법으로 수행하였으며, 소수성

(Hydrophobic fraction; HPO), 반친수성(Transphilic fraction; TPI), 친수성(Hydrophilic fraction; HPI)으로의 분획을 위하여 흡착수지는 DAX-8과 XAD-4 (Amberlite, Rohm & Hass Co.)를 사용하였다. 수지흡착을 위한 칼럼은 원통형 유리칼럼($\varnothing 25\text{mm} \times 200\text{mm}$)을 이용하였으며, 장치에 대한 모식도는 **Fig. 2**에 나타내었다.

각각의 처리수(한강원수, PAC 및 PAHCs 응집/침전수)는 RO 농축 시스템을 통해 농축하여 2.5L로 용량을 동일하

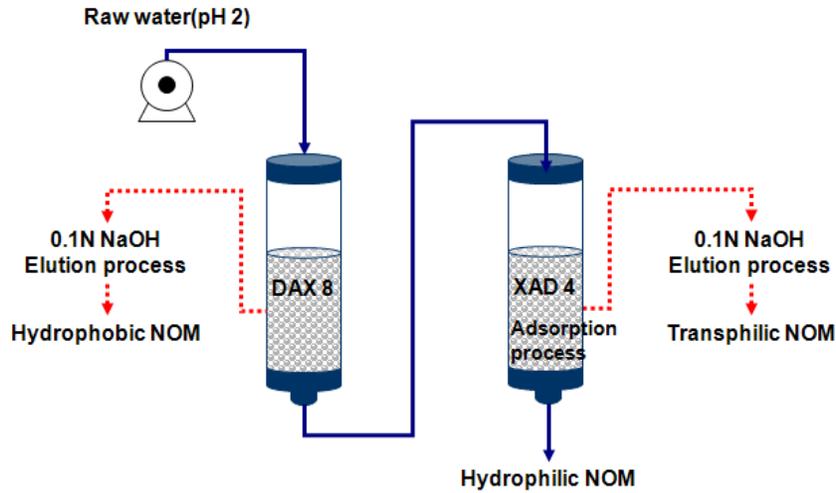


Fig. 2. NOM fractionation procedures

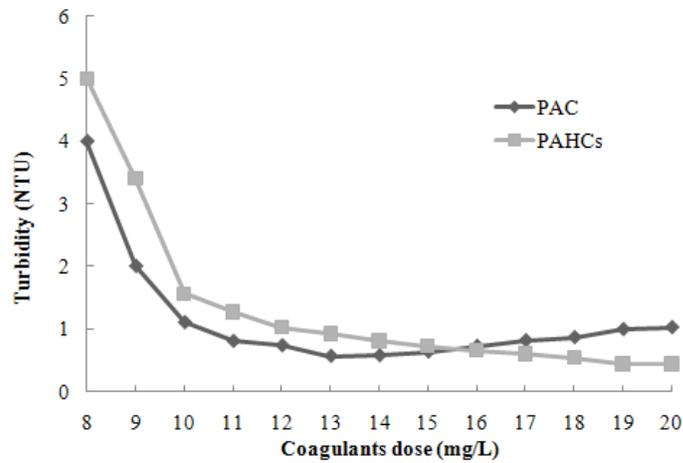


Fig. 3. Jar test using PAC and PAHCs

게 준비하였으며, HCl로 pH 2 이하로 조절한 후 첫 번째 단계로 소수성 성분의 분리를 위하여 시료를 DAX-8 수지가 충전된 칼럼을 통해 약 10ml/min 유량으로 통과시켜 칼럼 흡착과정을 통해 소수성 NOM을 분리하였다. 흡착된 소수성 NOM 성분은 0.1N NaOH를 이용하여 용리하였으며, 반친수성을 분획하기 위해서 XAD-4를 이용하여 동일한 흡착과정을 거쳤다. XAD-4에 흡착된 성분을 0.1N NaOH를 이용하여 용리하고, 이를 반친수성으로 분류하였으며, 마지막으로 두 칼럼을 통과한 최종 유출수를 친수성으로 분류하였다.

2.3.2 NOM의 분자량 크기 분포분석

NOM 분자의 크기를 분석하기 위해 HPSEC(Shimadzu Corp., Japan)를 이용하여 분석하였으며, SEC column(Protein-pak 125, Waters Milford, USA)을 이용하였다. 시료는 연속적으로 UV와 형광검출기(Shimadzu Corp., Japan)를 통하여 측정하였으며, UV검출기의 파장은 254nm로 조사하였다. 일반적으로 254nm에서 UV 흡광도는 Sohn 등(2006)에 의하면 유기물질 중 2중 결합물질들과 같은 제한적인 검출이 가능하므로 방향족계열의 소수성물질인 휴믹산과 펠빅산의 분자량 평가에 적용된다. 검출기의 보

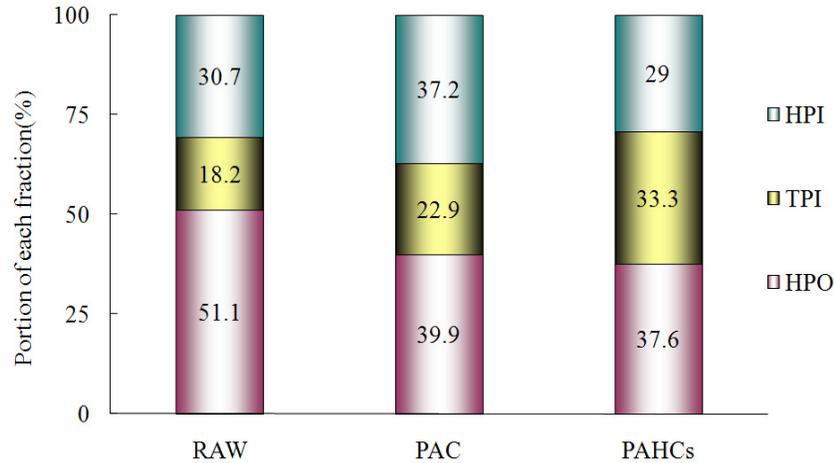


Fig. 4. Distribution of NOM fractions with different coagulants

정을 위해 표준물질로서 polystyrene sulfonates (MW : 210, 1800, 4600, 8000, 18,000Da)를 이용하였다.

2.3.3 ATR-FTIR

NOM이 막표면에서 미치는 영향을 알아보고자 막여과 실험 전·후의 막표면을 적외선 스펙트럼의 측정으로 분석하였다. 적외선 스펙트럼의 측정은 Thermo Mattson사의 Infinity Gold 60AR를 사용하였으며, 막표면의 측정을 위해 사용된 ATR accessory는 PIKE Technologies사 제품을 사용하였다. 막여과 실험 전과 후를 구분하여 비교·분석하기 위하여, 막여과 실험 후에 사용된 막은 막 표면의 케익층을 제거하기 위해 세척을 실시하고, 디스케이터에서 48시간 동안 멸균된 패트리디쉬에 보관하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 응집제 주입에 따른 실험수의 NOM 특성

막의 전처리 공정으로서 응집침전시 사용된 PAHCs 응집제는 Table 1에 나타난 바와 같이 염기도가 70% 이상으로서 반응성이 크고 PAC에 비하여 alkalinity 강하율이 상대적으로 적으며, 반응성이 크기 때문에 flocculation 속도와 침전속도가 빠른 것으로 보고되고 있다(서울특별시 상수도연구소, 2006). 본 연구에서도 PAHCs 응집제가 Jar-test 과정에서 침전속도가 PAC에 비해서 약 1.5~2배 정도 빠르게 나타난 것을 확인하였으며, PAHCs를 주입하면 다음 Fig. 3과 같이 PAC를 주입했을 때의 전하의 재역적 현상이

관찰되지 않고 탁도가 계속적으로 감소하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 이유는 SO_4^{2-} 와 같은 anion들이 응집제를 과량 주입할 때 전하역전 현상을 억제하기 때문인 것으로 해석할 수 있었다(김희근 등 2004). 그러나 PAHCs의 경우 주입량에 따라 계속적으로 수질이 양호해지는 특성 때문에 PAC와 같은 방법으로 최적주입량을 결정하는 것은 어려운 것으로 판단되고, 수질이 양호해 질수록 주입량에 대한 수질개선율은 감소하므로 최적주입량의 결정시에는 경제성 평가가 수반되어야 할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 PAC의 주입량과 동일한 조건으로 평가하기 위하여 PAC를 최적으로 주입했을 때의 탁도를 기준으로 PAHCs의 최적주입량도 결정하였다.

응집제 PAC와 PAHCs로 동일한 혼화 조건에서 응집침전된 처리수의 수질을 비교한 결과 DOC는 PAC가 PAHCs보다 상대적으로 낮게 나타났으며, SUVA 값의 경우 원수가 가장 높게 나타났으며 다음으로 PAC, PAHCs 순이었다 (Table 2). SUVA 값은 UV₂₅₄ 값에 대한 DOC 값의 비율로서, UV₂₅₄의 경우 일반적으로 전자밀집부분에서 높은 값을 나타내며, 주로 방향족 물질이나 유기물질 중 불포화 이중결합구조를 갖는 NOM에 의해서 야기된 것으로 판단된다. 이러한 결과는 NOM 중 비휴믹성분(non-humic fraction)은 카르복실기와 페놀기 등의 약산성 작용기들을 함유하고 있는 휴믹성분(humic fraction)에 비해서 전자밀집부분을 덜 포함하고 있으므로, 응집제를 사용할 경우 이러한 휴믹물질을 상대적으로 더 제거할 수 있다는 것으로 해석할 수 있다.

Fig. 4는 PAC와 PAHCs 응집제를 각각 이용하여 응집침

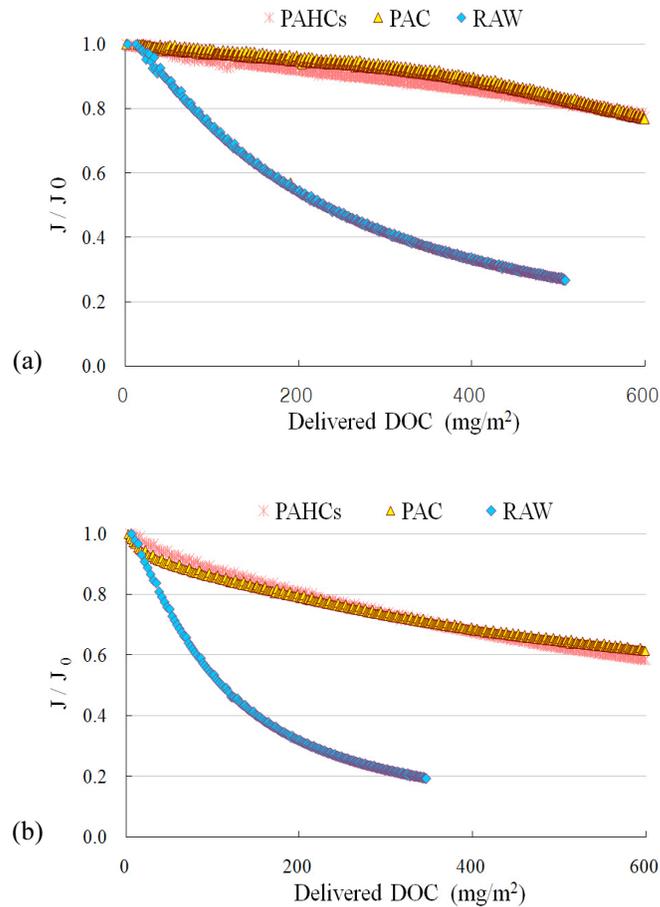


Fig. 5. Flux decline of hydrophilic(a) and hydrophobic(b) UF with different pre-coagulation

전된 처리수와 원수의 NOM 구성 분율이다. 처리수의 경우 PAHCs를 이용한 경우 소수성 분율과 친수성 분율이 제거됨으로써 반친수성 분율이 상대적으로 증가하였으며, PAC의 경우 소수성 분율의 제거로 친수성과 반친수성이 상대적으로 증가한 것으로 판단된다. 이러한 결과는 응집혼화방식이 동일하고 Alum 계열의 유사한 응집제를 주입했음에도 불구하고 응집제의 반응성을 나타내는 염기도의 영향 때문에 일어난 것으로 판단된다.

3.2 NOM 특성에 따른 투과 Flux 변화

NOM을 구성하는 물질간의 각각의 분율에 의한 파울링의 영향을 파악하기 위해 0.45um filter를 이용하여 입자성 물질을 제거하였다. 또한 초기플럭스에 대한 투과율(J/J_0)을 막에 전달된 DOC 총량의 함수로서 표현하였으며, 각각의

저압막을 이용해서 원수와 사전에 응집된 처리수의 여과시막에 전달된 DOC는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Cumulative feed-water DOC mass per unit area of membrane surface} = \text{feed water DOC}(\text{mg/L}) \times \text{cumulative volume}(\text{L})/\text{membrane surface}(\text{m}^2)$$

Fig. 5는 UF막을 대상으로 소수성과 친수성 특성을 가진 막에서의 응집침전된 처리수와 원수의 비플럭스 변화를 나타낸 그림이다. 기존의 연구에서와 같이 전처리 공정으로서 응집공정과 막여과공정은 효과적으로 막 파울링을 감소함으로써, 결과적으로 플럭스를 증가시키는데 기여하였다. 소수성 저압막의 플럭스 감소율은 친수성 저압막보다 상당히 큰 것으로 나타났으며, 이러한 결과는 소수성막의 오염은 막표면과 흡착성의 유기물질사이에 존재하는 상호작용의

결과로 해석될 수 있다.

PAHCs를 이용하여 응집침전된 처리수는 PAC를 투입한 것보다 친수성과 반친수성 분율이 높고 소수성 분율이 낮게 나타났으며, Flux 감소 테스트에서 DOC 농도가 상대적으로 적었음에도 불구하고 PAC의 플럭스 감소경향과 유사하게 나타났다. 따라서 본 연구에서는 NOM의 친수성, 반친수성, 소수성 분율간에 상대농도에 따른 분율내의 특성이 막오염에 영향을 미치고 있다는 것을 확인할 수 있었다.

이러한 결과는 이전의 연구자들에 의해서 유사한 결과가 보고된 바 있으며, 그 중 Cho 등(1998)과 Fan 등(2001)의 연구에서는 NOM 중에서 친수성 중성분율이 파울링을 일으키는 데 크게 기여하는 것으로 보고하였다. 특히, Fan 등(2001)은 잠재적인 막오염물질로서 hydrophilic neutrals가 가장 영향력이 있고, 다음으로 hydrophobic acids, transphilic acids 순이었다고 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 소수성 분율의 비율이 유사하고, 친수성과 반친수성 분율간에 비율이 차이가 있었음에도 불구하고 유사한 플럭스 경향을 나타냈으며, 친수성, 반친수성, 소수성만의 NOM 특성에 의해서는 막오염의 영향을 해석할 수 없을 것으로 판단되는 결과가 도출되어 다음에서와 같이 실험수의 분자량 분포특성과 막표면에 흡착된 막오염물질을 분석하고자 하였다.

3.3 막오염 유발물질의 규명

3.3.1 HPSEC

막은 NOM과의 흡착특성으로 인하여 막표면의 세공보다 작은 NOM은 막의 내부 세공에 흡착될 수 있으며, 분자량이 큰 NOM의 경우 막표면에 퇴적되어 케익층을 형성함으로써 플럭스 감소를 가속화 시킬 수 있다. 이러한 특성은 대상 원수의 특성에 따라서 상이한 특성을 가지고 있으며, 본 연구에서의 대상원수 및 처리수의 분자량 분포 특성은 Fig. 6과 같다.

연구결과를 이용하여 분자량 분포특성을 해석하면 Fig. 6의 첫 번째 피크의 경우 휴믹물질로써 휴믹산과 펠빅산($\pm 1,000\text{Da}$)에 의해서 UV 반응이 높게 나타나고 있음을 알 수 있었다. 반면에 두 번째 피크의 경우에 해당되는 비휴믹 물질은 대부분 분자량이 큰 물질인 polysaccharides와 protein 등이 이에 해당된다. 그러나 본 연구에서 검출기로 사용한 UV detector (254nm)는 주로 휴믹물질에 대한 검출특성이 높기 때문에 비휴믹물질의 특성을 가진 분자량이 큰 유기물질이 기존연구보다 낮게 검출되었음을 확인할 수 있었다.

PAC와 PAHCs를 이용한 처리수의 경우 원수에 비해서 휴믹물질과 비휴믹물질이 상대적으로 크게 감소한 것으로 나타났으며, PAHCs가 PAC보다 상대적으로 분자량이 큰

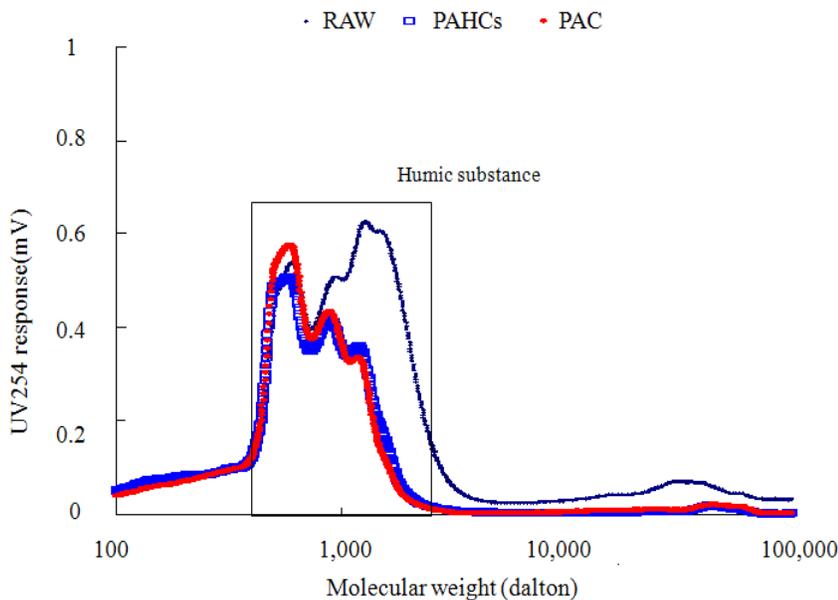


Fig. 6. HPSEC-UV254 chromatograms for raw and treated waters based on molecular weight

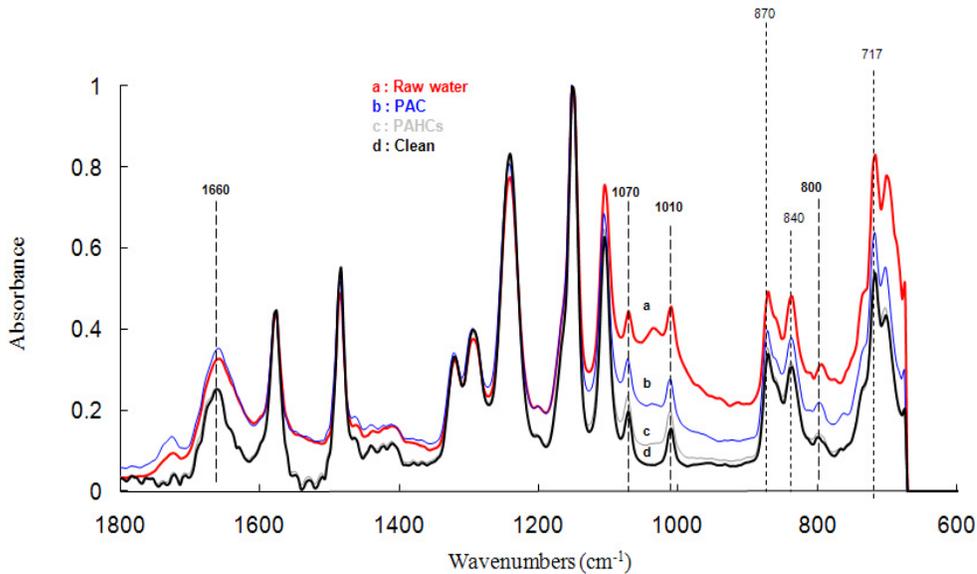


Fig. 7. ATR-FTIR of UF-HPO membrane before and after filtration for raw and treated waters

유기물이 많이 분포하고 있으며, 반면에 PAC에서 저분자량의 물질이 더 많이 분포하고 있는 것으로 확인할 수 있었다. 그러나 대체적으로 유사하게 나타났으며, 이러한 결과가 플럭스 경향에 미치는 영향이 미미했을 것으로 판단된다.

3.3.2 ATR-FTIR

Fig. 7은 막의 플럭스 감소에 영향을 미치는 막오염물질을 확인하기 위해 상대적으로 플럭스가 낮게 나타났던 소수성 저압막의 FTIR 스펙트럼 결과이다.

FTIR 스펙트럼 결과의 해석을 위해 Her 등(2004), Kim 등(2006)과 Koh 등(2006)의 결과와 비교하여 고찰하면, 1,070과 1,010 cm^{-1} 에서의 흡수대역은 alcoholic compounds의 C-O stretching에 해당되며, 이러한 alcoholic compounds의 C-O bands는 polysaccharide-like 물질로부터 유래되었다고 판단할 수 있다. 또한 1,280~1,137 cm^{-1} 에서는 esters, ethers, phenols의 C-O stretching에 기인하며, polysaccharides는 식물의 세포벽을 구성하는 주요 물질로 해석될 수 있다. 한편 1,085와 1,030 cm^{-1} 에서의 피크는 polysaccharides에 기인하는 alcohols과 ethers의 C-O vibrations과 실리케이트의 Si-O vibration이며, 800 cm^{-1} 부근에서의 피크는

aromatic group에서 기인하였음을 확인할 수 있었다.

Fig. 7에서 오염되지 않은 막의 IR 스펙트럼에서 1660, 1070, 1010, 870, 840, 800, 763 그리고 717 cm^{-1} 의 피크면적이 비가역적인 파울링에 의해서 증가하였다. 이러한 FTIR 스펙트럼의 결과에 의하면 aromatic groups를 포함하는 휴믹물질보다는 오히려 alcohols와 같은 지방족유기물질에 의해 유발된 비가역적 파울링 결과를 나타내고 있으며, 응집되지 않은 원수에서 높게 나타났다. 응집침전수를 투과시킨 막의 경우 PAC가 PAHCs보다 상대적으로 높게 나타나고 있으나 이러한 결과는 FTIR 이전에 막의 케익층을 제거하는 세척과정에서 막의 가역적인 오염물질인 비흡착성의 유기물이 제거된 것으로 해석할 수 있다. 따라서 이러한 막 오염 유발물질은 비가역적인 오염물질로서 NOM의 분류체계상 친수성과 소수성 분율에 분포하고 있는 중성 NOM 분율(neutral fraction)로 구분된다(Swjetlik 등, 2004). 결과적으로 본 연구에서는 PAC의 경우 alcoholic compounds에 해당하는 피크면적이 PAHCs의 경우보다 더 큰 것으로 나타났으며, NOM 중 친수성 중성분율 뿐만 아니라 소수성 중성분율 역시 막표면에 흡착되어 비가역적인 파울링을 일으킨 것으로 판단할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 막여과 공정의 전처리 공정으로서 현재 국내에서 주로 사용되고 있는 PAC와 신규응집제인 PAHCs를 이용한 응집침전공정에 대한 비교 및 평가를 위하여 응집침전수의 NOM의 특성변화와 이에 따른 저압막에서의 여과 성능 및 막오염 특성 분석을 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

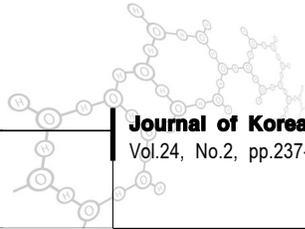
- (1) 응집침전시 PAHCs가 PAC 보다 침전속도가 1.5~2배 정도 빠르게 나타났으며, PAHCs의 경우 주입량이 계속적으로 증가하여도 전하의 재역전 현상이 관찰되지 않았고, 탁도가 계속적으로 감소하는 것을 확인하였다. 따라서 PAHCs는 반응성이 크기 때문에 flocc의 침전시간을 단축할 수 있으므로 타 응집제를 사용했을 때 보다 침전지를 Compact하게 설계할 수 있을 것으로 사료되며, SO_4^{2-} 와 같은 anion들이 전하역전 현상을 억제하기 때문에 최적주입량의 결정시에는 등전위점을 이용한 최적주입량 결정과 경제성 평가가 동시에 수반되어야 할 것으로 판단된다.
- (2) PAC와 PAHCs 응집제를 주입한 각각의 응집침전수의 수질은 PAC가 PAHCs보다 DOC 제거율이 높게 나타났으며, SUVA값은 PAC, PAHCs 순이었다. NOM 분율은 PAHCs의 경우 소수성과 친수성 분율이 주로 제거되어 상대적으로 반친수성 분율이 증가하였으며, 반면에 PAC의 경우 주로 소수성 분율이 제거되어 반친수성과 친수성 분율이 상대적으로 증가하는 것을 확인하였다.
- (3) 플럭스 감소 테스트에서는 PAC가 PAHCs를 이용한 응집침전수보다 DOC 농도의 총량이 낮았음에도 불구하고 두 응집제가 모두 유사한 감소 경향이 나타났다. 반면에 소수성 막의 FTIR 결과에서는 PAC가 PAHCs보다 상대적으로 높게 나타났다. 세척과정에서 비가역적인 오염물질만이 막의 표면에 남았으며, 이러한 물질은 주로 NOM 중 친수성 중성분율에 해당되며, 소수성 중성분율도 막표면에 흡착되는 것으로 나타났다. 또한 이러한 물질들은 중성 NOM 분율에 해당하는 polysaccharides-like의 alcoholic compound 물질로서 휴믹물질보다 막표면에 더 두드러지게 오염 시키고 있는 것을 확인하였다. 따라서 혼화방식이 동일하고 응집제 특성이 유사한 점을 고려해 볼 때 막여과 공정시 전처리 공정으로서 응집공정에서 PAC보다 PAHCs를 주입했을 때 장기적으로 비가역적인 막오염 대해서 상대적으로 안전할 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 2008년도 서울시립대학교 교내학술연구비에 의하여 연구되었음.

<참고문헌>

- 김희근, 문병현, 김승현 (2004) 응집제 종류에 따른 황산 ion이 응집공정에 미치는 영향, 한국수처리학회지, 12(4), pp. 79-87.
- 서울특별시 상수도연구소 (2006) 2005 상수도 연구집, pp. 227-252.
- Al-Ahmad, M., Abdul Aleem, F.A., Mutiri, A. and Ubaisy, A. (2000) Biofouling in RO membrane systems Part 1: fundamentals and control, *Desalination*, **132**, pp. 173-179.
- Cho, J., Amy, G., Pellegrino, J. and Yoon, Y. (1998) Characterization of clean and natural organic matter fouled NF and UF membranes, and foulants characterizations, *Desalination*, **118**, pp. 101-108.
- Fan, L., Harris, J.L., Roddick, F.A. and Booker, N.A. (2001) Influence of the characteristics of natural organic matter on the fouling of microfiltration membranes, *Wat. Res.*, **35(18)**, pp. 4455-4463.
- Her, N., Amy, G., Park, H. and Song, M. (2004) Characterizing algogenic organic matter (AOM) and evaluating associated NF membrane fouling, *Wat. Res.*, **38**, pp. 1427-1438.
- Kaiya, Y., Ltoh, Y., Takizawa, S., Fujita, K. and Tagawa, T. (2000) Analysis of organic matter causing membrane fouling in drinking water treatment, *Wat. Sci. Tech.*, **41(10-11)**, pp. 59-67.
- Kim, H.C., Hong, J.H. and Lee, S.H. (2006) The fouling of ultrafiltration membranes by natural organic matter after chemical coagulation treatment with different initial mixing conditions, *Wat. Sci. Tech.*, **6(4)**, pp. 117-124.
- Koh, M., Clark, M.M. and Ishida, K.P. (2006) Adsorptive fouling of a polypropylene microfiltration membrane with dissolved natural organic matter: do membranes possess an adsorption capacity?, *Wat. Sci. Tech.: Water Supply*, **6(2)**, pp. 25-30.
- Laine J.-M., Hagstrom J.P., Clark M.M. and Mallevalle, J. (1989) Effects of ultrafiltration membrane



- composition, *J. AWWA*, **80(11)**, pp 61–67.
- Lee, N., Amy, G., Croue', J. and Buisson, H. (2005) Morphological analyses of natural organic matter (NOM) fouling of low-pressure membranes (MF/UF), *J. Membr. Sci.*, **261**, pp. 7–16.
- Letterman, R.D., Amirtharajah, A. and O'Melia, C.R. (1999) *Coagulation and Flocculation in Water Quality and Treatment, 5th edn.*, McGraw-Hill, New York.
- Shon, H.K., Vigneswaran, S., Kim, I.S., Cho, J. and Ngo, H.H. (2006) Fouling of ultrafiltration membrane by effluent organic matter: A detailed characterization using different organic fraction in wastewater, *J. Membr. Sci.*, **278**, pp. 232–238.
- Świetlik, J., Dabrowska, A., Raczyk-Stanisławiak, U. and Nawrocki, J. (2004) Reactivity of natural organic matter fractions with chlorine dioxide and ozone, *Wat. Res.*, **38**, pp. 547–558.
- Wiesner, M.R. and Laine, J.M. (1996) Coagulation and membrane separation. In: Mallevialle, J., Odenaal, P.E. and Wiesner, M.R., Editors, 1996. *Water Treatment Membrane Processes*, McGraw-Hill, USA, pp. 16.1–16.12.