

응집-막분리 공정 적용시 전처리 응집조건에 따른 용존성 유기물 상(相) 변화 특성

정철우 · 손희종^{†,*}

울산산업진흥TP 전략산업기획단 · *부산광역시 상수도사업본부 수질연구소

(2008년 8월 26일 접수, 2008년 11월 10일 채택)

The Characterization of Floc Formation Under Various Pre-coagulation Conditions

Chul-Woo Jung · Hee-Jong Son^{†,*}

Ulsan Regional Innovation Agency, Ulsan Industry Promotion Techno Park

*Water Quality Institute, Water Authority, Busan

ABSTRACT : The objectives of this research are to investigate the mechanism of coagulation affecting UF and find out the optimum conditions of the combined of coagulation with UF membrane filtration for NOM removal. During the mixing period, substantial changes in particle size distribution occurred under rapid and slow mixing condition due to the simultaneous formation of microflocs and NOM precipitates. Therefore, combined pretreatment using coagulation (both rapid mixing and slow mixing) improved dissolved removal efficiency. Also, for combined coagulation to membrane process, flux reduction rate showed lower than only UF process. The rate of flux decline for the hydrophobic membrane was considerably greater than for the hydrophilic membrane. Applying coagulation process before membrane filtration showed not only reducing membrane fouling, but also improving the removal of dissolved organic materials that might otherwise not be removed by the membrane.

Key Words : Coagulation, Microfloc, Membrane, NOM, Flux

요약 : 응집-막분리 공정의 적용시 전처리 응집공정에서 응집조건에 따라 발생하는 플록 생성특성을 파악하고 생성된 플록 특성에 따른 막투과 플럭스의 영향을 살펴본 결과 인공시수와 낙동강 원수에서 전처리 응집공정을 적용시 급속교반 후 용존성 유기물질(자연유기물질)이 미세 플록의 형성으로 인하여 입자상 유기물질로 전환이 발생하였으며 급속교반초기 10초 사이에 용존성 유기물질이 입자상 물질로 전환되었다. 또한 응집제 주입량이 0.025 mM as Al (7.5 mg/L Alum) 이었을 경우 입자 전환율 K값이 크게 나타나고 있었으나 0.05 mM (15 mg/L Alum) 이상으로 응집제 주입량이 증가할 경우 K값은 감소하였으며 0.15 mM까지 유사한 값을 보이고 있었다. 낙동강 원수를 이용하여 전처리 공정으로 응집 공정을 적용시 UF 단독공정에 비하여 투과 flux 감소는 상당히 낮게 나타났으며 투과 flux 변화는 응집공정에 의하여 형성되는 입자크기 분포에 의존하였으며 응집조건에 따른 투과 flux 실험결과 급속교반-UF공정과 급속교반-완속교반-UF공정의 투과 flux는 유사하게 나타났다. 막의 재질에 따른 투과 flux 실험결과 소수성 재질의 막에 비하여 친수성 재질의 막이 투과 flux가 높게 유지되었으며 응집제 자체의 급속성분에 의한 막오염 영향은 나타나지 않았다.

주제어 : 응집, 미세플록, 막분리, 자연유기물질, 투과 플럭스

1. 서론

막분리 공정은 오염물의 안정적인 제거와 화학제의 첨가를 최소화할 수 있는 장점으로 인하여 수처리 공정에서 재래식 공정을 대체할 수 있는 공정으로 현재 많은 연구가 진행되고 있다. 또한 막분리 공정은 기존에 널리 사용되었던 막은 높은 압력이 요구되며 공업용수내의 염을 제거하기 위하여 역삼투막(Reverse Osmosis)을 중심으로 연구되어 폭넓은 분야로 개발되어 사용되어 왔으며 현재 정수처리에서 사용되는 막 분리 공정은 역삼투막(Reverse Osmosis)을 비롯하여 NF (Nanofiltration), UF (Ultrafiltration), MF

(Microfiltration) 그리고 전위차를 이용한 ED (Electrodialysis) 등을 들 수 있다.^{1~3)} UF와 MF 막분리 공정은 1980년 중반부터 지표수와 지하수로부터 입자상 물질과 미생물의 제거를 위한 수처리 공정으로 성공적으로 사용되고 있다.⁴⁾ 그러나 낮은 압력 구동형 UF와 MF 막분리 공정은 용존성 유기물 제거측면에서는 RO와 NF에 비하여 효과적이지 못한 결과를 얻고 있다.^{5,6)} 또한 자연유기물질과 입자상 물질로 인하여 발생하는 막오염은 UF와 MF 막분리 공정의 적용을 위한 또 다른 제한요인이 되고 있다.^{7~10)} 이러한 2가지 제한요인을 해결하기 위해서 응집-침전, 활성탄, 오존산화 등의 공정이 막분리 공정의 전처리 공정으로 수처리 공정에서 적용되고 있다.^{11~13)} 또한 UF 공정의 사용시 입자상 물질에 의한 막 오염 현상이 발생함으로 입자상 물질에 대한 영향도 고려되어야 한다. 이에 따라 막 분

[†] Corresponding author

E-mail: menuturk@hanmail.net

Tel: 055-323-4718

Fax: 055-323-4719

리 공정의 전처리 공정으로 다양한 처리공정이 적용되고 있으며 이중 응집공정에 대한 연구가 다양하게 연구되어 있다.^{14,15)} 이러한 응집공정은 원수에 응집제를 첨가하여 짧은 시간 내에 균일하게 확산·분산시킴으로써 alum과 같은 금속염 응집제가 가수분해 되면서 생성되는 여러 가지 가수분해 산물이 원수 중의 오염물질을 중화 및 흡착 등의 과정에 의해서 침전성이 양호한 보다 큰 입자(floc)를 생성할 수 있도록 유도하는 수처리 공정을 말한다. 알루미늄과 철염에 기초한 금속염 응집제는 수처리 공정에서 광범위하게 사용되고 있으며 전화중화와 체거름에 의한 금속염 응집제의 응집특성은 널리 이해되고 있다.¹⁶⁾ 따라서 응집공정의 효율적인 운전은 막분리 공정의 효율을 좌우한다고 할 수 있다. 이에 따라 본 연구에서는 응집-막분리 공정의 적용시 전처리 응집공정에서 응집조건에 따라 발생하는 플럭 생성특성을 파악하고 생성된 플럭 특성에 따른 막투과 플럭스의 영향을 조사하여 유기물 제거에 적합한 효율적인 응집-막분리 공정을 제시하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시수특성

본 연구에 사용된 시수는 휴믹산(Aldrich, U.S.A.)을 이용한 인공시수와 낙동강 원수를 각각 이용하였다. 휴믹산을 이용한 인공시수는 초기 UV₂₅₄ 농도를 0.1 cm⁻¹, 초기 pH는 7.3, 알카리도는 48 mg/L(as CaCO₃)로 조정하였다. 낙동강 원수의 초기 DOC 농도는 3.4 mg/L, 초기 pH는 7.4, 알카리도는 48 mg/L(as CaCO₃)이었으며 제조된 인공시수와 낙동강 원수는 입자상물질의 제거를 위하여 0.22 μm 필터로 여과하여 사용하였다. 또한 낙동강 원수의 경우 유기물 성장별 변화특성을 살펴보기 위하여 용존성 유기물을 XAD-8 수지를 이용하여 친수성과 소수성 성분으로 분류하였으며 초기 pH 7.3이며 DOC 3.6 mg/L로 각각 조정 한 후 실험을 수행하였다.

2.2. 응집실험

응집실험에 사용된 응집제는 일반적으로 많이 사용되고 있는 알루미늄계 응집제인 Alum (Al₂(SO₄)₃ · 16H₂O)을 사용하였다. 응집 실험에 사용된 jar-tester는 18 L 용량의 사각형 jar로 paddle (two-blade)식 임펠러를 사용하였다. 급속 교반강도는 G = 550 sec⁻¹, 완속 교반강도는 G = 22 sec⁻¹에서 실험을 수행하였으며, G값과 rpm과의 상관관계는 power, torque와 rotational speed에 의하여 구할 수가 있다. 반응조에서 input power는 회전속도를 변화시키면서 임펠러 축에 걸리는 torque 값을 tachometer로 직접 측정함으로써 결정되어졌다. 이때 power, torque와 rotational speed의 관계는 다음과 같다.

$$P = \tau \omega = 2\pi N T \quad (1)$$

여기서, P = the power input

τ = the torque

ω = the angular velocity of the rotating impeller (radians/sec)

N = the rotational speed (revolutions/sec)

G값을 사용하여 각 반응조에 대한 N과 G의 calibration curve에 의하여 N과 G의 상관식을 구할 수 있다.

$$G = 0.135 \cdot N^{1.471} \quad (\text{at } 23^\circ\text{C, with N in revolution/min}) \quad (2)$$

2.3. 응집-한외여과 장치

UF공정의 전처리 공정으로서 응집공정은 급속교반만 실시한 시료를 UF에 적용하였거나(Rapid mixing+UF), 급속-완속교반을 거친 후의 시료를 침전과정 없이 UF에 적용하였다(Slow mixing+UF). Table 1에 각각의 실험조건을 세부적으로 나타내었다.

본 실험에 사용된 batch type UF membrane 장치는 Millipore사에서 제조된 막힘형 형태의 장치를 사용하였다. 사용된 막은 Millipore사의 평판 disc 형태의 막으로 지름은 76 mm, 막면적은 4.54×10⁻³ m²이며 상층부의 두께는 0.1~1.5 μm이며 지지층의 두께는 50~250 μm이다. UF막은 100 kDa이며 친수성과 소수성 재질의 막을 사용하여 실험을 실시하였으며 압력적용은 질소가스를 이용하여 일정하게 UF cell에 주입하였다. 투과 flux는 투과수를 전자저울을 이용하여 측정 한 후 산정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 응집공정에 의한 용존성 유기물의 변화특성

UF 공정의 전처리로서 응집공정을 적용할 경우 급속교반 중에 용존성 유기물질의 거동을 파악하기 위하여 급속교반시간에 따라 용존성 유기물질의 변화를 살펴보았다. 제조된 인공시수의 초기탁도는 0.1 NTU 이하로 측정되었다. 급속교반 후 탁도의 측정은 알루미늄 응집제의 가수분해 반응이 일어나는 동안 용존성 유기물질이 입자상물질로 전환되어 미세플럭이 형성되어 탁도를 유발하므로 간접적으로 용존성 유기물질이 입자상 물질로 전환이 이루어지는 지표로 측정이 가능하다. Fig. 1은 응집제 주입량에 따른 급속교반 과정 중에 발생하는 탁도 변화를 나타내었다. Fig. 1에서 알 수 있듯이 급속교반 중에 탁도 변화가 일어나

Table 1. Experimental conditions three four different types of processes

Process	Conditions
UF alone	Only UF process.
Rapid mixing+UF	Applying UF process after rapid mixing (1 min)
Slow mixing+UF	Applying UF process after rapid and slow mixing (30 min)

고 있음을 알 수 있으며, 또한 응집제 주입량이 증가할수록 탁도가 더 많이 증가함을 알 수 있다. 이는 응집제 첨가에 따라 용존성 유기물질이 입자상 물질로 전환되어 미세플록이 많이 형성되기 때문이다. 그리고 급속교반 시간에 따라 탁도 증가를 살펴보면 급속교반 초기 10초 사이에 거의 대부분이 입자상 물질로 전환됨을 알 수 있다. 이는 Amirtharajah의 연구에서 Al(III) 가수분해 반응은 10초안에 거의 완료된다고 보고하였다.¹⁷⁾ 따라서 교반 초기에 대부분의 반응이 이루어져 용존성 유기물질이 입자상 물질로 전환되어짐을 알 수 있다. Fig. 2는 급속교반 중에 응집제 주입량에 따른 용존성 유기물질의 농도 변화를 나타내었다. Fig. 2에 나타난 바와 같이 교반시간에 따라 용존성 유기물질의 감소가 급격히 일어나고 있으며 응집제 주입량이 증가함에 따라 교반 초기에 용존성 유기물질의 감소가 많이 일어나고 있음을 알 수 있다. 또한 응집제 주입량에 따라 유기물의 감소가 더 많이 일어나고 있으나 0.05 mM as Al (15 mg/L Alum) 이상에서는 동일한 제거 경향을 보이고 있다. Fig. 1의 탁도 변화와 마찬가지로 교반초기에 용존성 유기물의 감소가 급격히 일어나고 있다. 이는 앞서 설명한 바와 같이 Al(III) 가수분해 이론에서 10초 안에 가수분해 반응이 거의 끝나므로 교반 초기에 대부분의 반응이 이루어져 용존성 유기물질이 미세플록으로 전환이 일어나 용존성 유기물질이 감소되어진다.

Fig. 1의 실험결과에서 탁도의 변화를 살펴보면 응집제 주입으로 인한 고형물인 Al(OH)₃의 생성으로 인하여 탁도 증가가 유발될 수 있으나 Fig. 2의 유기물제거 측면을 살펴보면 응집제 주입량이 증가함에 따라 유기물 제거효율이 증가함을 알 수 있다. 따라서 탁도의 증가는 용존성 유기물이 응집제와의 반응을 통하여 미세플록으로 전환되어 탁도를 유발한다고 할 수 있다. 또한 동일한 실험조건에서 Al(OH)₃ 형성에 의한 탁도 변화를 살펴보기 위해서 유기물이 존재하지 않는 순수를 제조하여 0.15 mM as Al (45 mg/L Alum)의 고주입량의 응집제를 첨가한 후 급속교반 후 탁도를 측정된 결과 0.48 NTU로 Al(OH)₃에 의한 탁도의 발생은 크게 나타나지 않았다. 따라서 Fig. 1의 탁도의 변화는 Al(OH)₃에 의한 영향은 크게 나타나지 않으며 용존성 유기물질이 입자상으로 전환되어 탁도를 유발하는 것으로 판단된다. 특히 0.05 mM as Al (15 mg/L Alum) 이상의 주입에서는 유기물 제거효율이 거의 유사한 경향을 보이고 있으므로 0.05 mM as Al (15 mg/L Alum) 이상의 응집제 주입량에서 용존성 유기물질이 입자상으로 전환됨을 알 수 있다. 김 등의 연구에서도 급속교반 중에 상(相) 변화를 관찰하여 급속교반 후에 약 40~50%의 용존성 유기물질이 입자상 유기물질로 전환된다고 보고하였다.¹⁸⁾ 이러한 용존성 유기물질의 변화는 용존성 유기물질과 용존성 Al(III) 가수분해 성분이 반응하여 고체상의 착화합물로 형성되거나 용존성 유기물질이 응집제 주입으로 인하여 생성된 고체상의 Al(OH)₃(S) 표면에 흡착된다고 보고된바 있다.

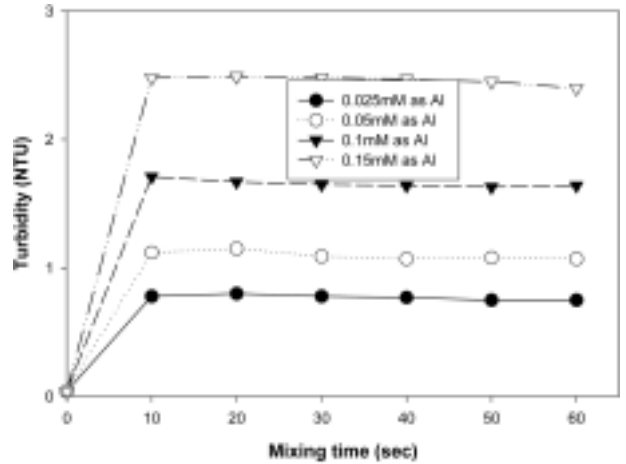


Fig. 1. Changes in turbidity as a function of coagulant doses.

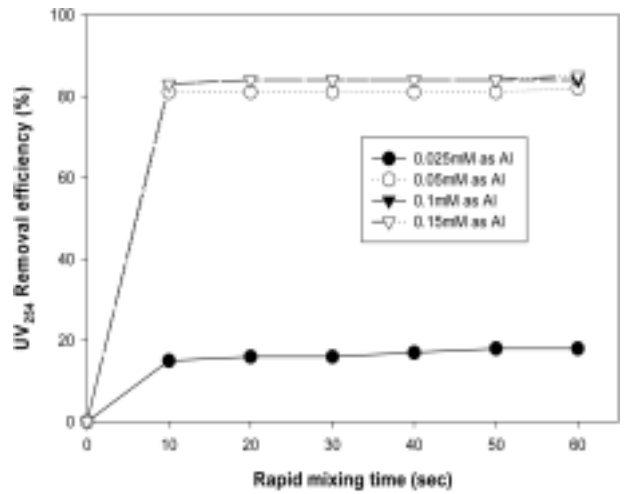


Fig. 2. Changes in UV₂₅₄ as a function of coagulant doses.

낙동강 원수를 이용하여 급속교반 중에 용존성 유기물질이 입자상 물질로 전환되는 것을 확인하기 위하여 급속교반 시간에 따라 용존성 유기물질의 제거를 DOC에 대하여 Fig. 3에 나타내었다. 낙동강 원수의 경우 인공시수와

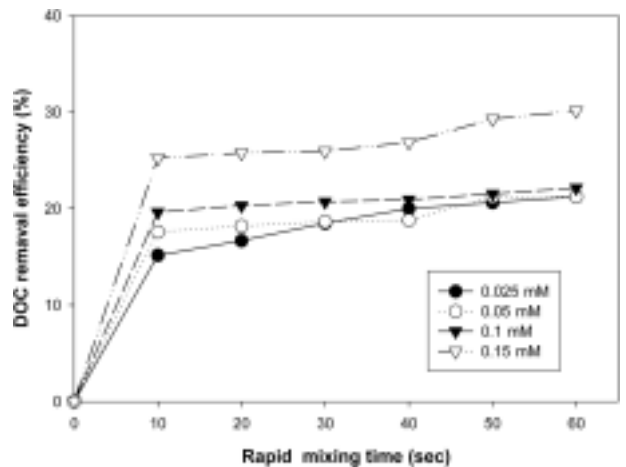


Fig. 3. Changes in DOC removal as a function of coagulant doses.

마찬가지로 실험 전 입자상 물질의 제거를 위하여 0.22 μm 필터를 이용하여 여과하여 사용하였으며 초기 탁도는 0.1 NTU 이하로 측정되었다. Fig. 3에서 알 수 있듯이 응집제 주입량이 증가할수록 DOC 제거율이 증가하고 있으며 급속교반 초기 10초 사이에 거의 대부분의 유기물질이 제거됨을 알 수 있다. 또한, 인공시수와 달리 급속교반 과정 중에 미세하게나마 유기물의 제거가 일어나며 응집제 주입량에 따라 차이가 나타나고 있다. 이는 인공시수의 경우 humic acid를 이용하여 제조하였기 때문에 humic acid의 특성상 고분자 물질로 이루어져 있으므로 낮은 주입량에서도 유기물질이 효과적으로 제거되기 때문이다.

급속교반 초기에 발생하는 용존성 유기물질의 전환을 관찰하기 위하여 시간에 따라 감소되는 유기물의 농도를 측정하여 감소되는 용존성 유기물질의 농도를 입자상 물질로의 전환으로 평가하였다. 이에 따라 결정의 성장속도식¹⁹⁾을 수정하여 입자 전환을 식으로 변형한 식 (3)을 사용하여 급속교반 중에 발생하는 전환율을 산정하였다.

$$-\frac{dC}{dt} = K(C^*) \tag{3}$$

- 여기서, $-\frac{dC}{dt}$ = 급속교반 중의 유기물 농도의 변화율
- $C^* = (C_i - C_t)$
- K = 입자상으로 전환율
- C_i = 초기 유기물농도
- C_t = 시간 t에서의 유기물농도

식 (4)을 일차 반응으로 고려하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\ln C_t^* = -\ln C_0 + K \times t \tag{4}$$

여기서, C^* 는 초기 유기물 농도와 반응시간 t에서의 유기물 농도값의 차이이며, C_0 는 초기 유기물 농도로 나타낸다. 단일 변수가 변하는 일련의 반응에 대하여 K의 변화는 용존성 유기물질이 입자상 물질로 전환되는 변수로서 해석되어질 수 있다. 응집제 주입과 동시에 반응이 완전히 일어남을 알 수 있으며 시간이 갈수록 유기물의 농도가 감소함을 알 수 있다. 따라서 식 (4)을 이용하여 K값을 산정하였는데 이를 Table 2에 나타내었다. 응집제 주입량이 0.025 mM as Al (7.5 mg/L Alum)이었을 경우 K값이 크게 나타나고 있었으나 0.05 mM as Al (15 mg/L Alum) 이상으로 응집제 주입량이 증가할 경우 K값은 감소하였으며 0.15 mM as Al (45 mg/L Alum)까지 유사한 값을 보이고 있었다. 이는 응집제 주입량이 0.05 mM 이상으로 주입될 경우 응집제 주입과 동시에 용존성 유기물이 입자상으로 전환되는 부분이 많이 일어나기 때문이며 0.025 mM as Al (7.5 mg/L Alum)의 저주입량에서는 초기에 전환되는 부분이 작으며 시간에 따라 전환이 발생되기

Table 2. Calculation of transformation rate

Dose (mM as Al)	Removal rate	
	Synthetic water	Raw water
0.025	0.049	0.115
0.05	7.82×10^{-3}	0.031
0.1	3.12×10^{-3}	0.026
0.15	4.30×10^{-3}	8.29×10^{-3}

때문이다. 또한 Fig. 3과 동일한 실험조건에서 식 (4)을 사용하여 급속교반 초기 10초 사이에 유기물 변화를 관찰하여 입자상으로의 전환율을 관찰하였다. Fig. 3에서 알 수 있듯이 응집제 주입과 동시에 용존성 유기물질이 입자상으로 전환되어짐을 알 수 있었으며 시간이 갈수록 유기물의 농도가 감소함을 알 수 있다. 이에 따라 입자상으로 전환율을 산정하여 Table 2에 나타내었다. 앞선 인공시수의 결과와 유사하게 응집제 주입량이 0.025 mM as Al (7.5 mg/L Alum)이었을 경우 K값이 크게 나타나고 있었으나 0.05 mM as Al (15 mg/L Alum)이상으로 응집제 주입량이 증가할 경우 K값은 감소하였으며 0.15 mM as Al (45 mg/L Alum)까지 유사한 값을 보이고 있었다.

3.2. 응집조건에 따른 유기물 제거특성

Fig. 4는 낙동강 원수에 함유된 유기물질의 물리·화학적 특성에 따른 용존성 유기물의 변화를 관찰하기 위하여 응집제 주입량과 교반조건에 따른 유기물 제거경향을 살펴보았다. 사용된 응집제는 alum이며 응집제 주입량은 0.05 mM as Al (15 mg/L Alum), 0.1 mM as Al (30 mg/L Alum) 이었다. 교반조건은 급속교반 250 rpm에서 1분 후와 완속교반 30 rpm에서 5, 15, 30분에 시수를 채취하여 각 시간에 따른 유기물의 제거정도를 살펴보았다. 전반적으로 급속교반 후에 DOC 제거율은 15~40%, UV₂₅₄ 제거율은 20~50%까지 유기물의 종류와 응집제 주입농도에 따라서 차이가 발생함을 알 수 있다. 특히 소수성과 친수성 유기물 모두 응집제 주입량이 증가할수록 유기물 제거율이 높게 나타났다. 완속교반 시간에 따라서는 제거효율은 거의 유사하게 나타나고 있다. 따라서 급속교반 과정에서 대부분의 용존성 유기물이 입자상 물질로 상(相)변화가 이루어지고 있음을 알 수 있다. 이는 급속교반 중에 용존성 유기물질이 미세플렉으로 전환이 일어나고 있음을 알 수 있으며 급속교반과정에 Al(III) 가수분해 반응이 일어나는 동안 용존성 유기물이 입자상으로 상(相)변화를 일으킨다고 판단된다. Mhaisalkar 등은 급속교반 중 교반조건에 따른 입도분포의 변화에 대한 실험결과를 통하여 급속교반의 강도와 시간에 따라 급속교반 중 미세플렉의 크기분포가 다양하게 나타나며 이러한 영향이 응집효율에도 크게 영향을 미친다고 하였다.²⁰⁾ Fig. 5는 Fig. 4와 동일한 실험조건에서 유기물질을 친수성과 소수성 성분으로 분리한 후 alum을 이용하여 교반조건과 응집제 주입량에 따른 DOC 제거율을 나타내었다. 용존성 유기물은 낙동강 원수를 XAD-8 수

지를 이용하여 친수성과 소수성 성분으로 분류하였으며 초기 pH 7.3이며 DOC 3.6 mg/L로 각각 조정된 후 실험을 수행하였다. 유기물 성상별 DOC 제거율을 살펴보면 친수성 성분에 비하여 소수성 성분의 경우 상대적으로 높은 제거율을 보이고 있다. 따라서 친수성 성분에 비하여 소수성 성분이 응집에 의하여 제거가 더 잘 이루어진다고 할 수 있다. 수중의 NOM은 humic substance(소수성)와 nonhumic substance(친수성)로 나눌 수 있는데, humic substance는 소수성이 더욱 강하여 흡착 또는 응집에 의해 제거가 잘 되는 반면 단백질과 아미노산과 같은 nonhumic substance는 친수성이 강하여 응집에 의하여 제거가 어렵다.^{21,22)} 하지만 앞선 실험결과를 살펴보면 적절한 응집공정을 적용할 경우 친수성 성분의 제거가 효과적으로 이루어지리라 판단된다.

이상과 같은 실험결과를 살펴보면 응집공정을 적용할 경우 용존성 유기물질이 입자상으로 전환이 일어나며 급속교반 시간 중에 전환이 완전히 일어남을 알 수 있다. 따라서 응집공정 후 UF막 공정을 적용시 응집에 의하여 형성된 입자상 유기물을 여과기능에 의하여 보다 효율적으로 용존성 유기물질의 제거가 가능하리라 예상할 수가 있다.

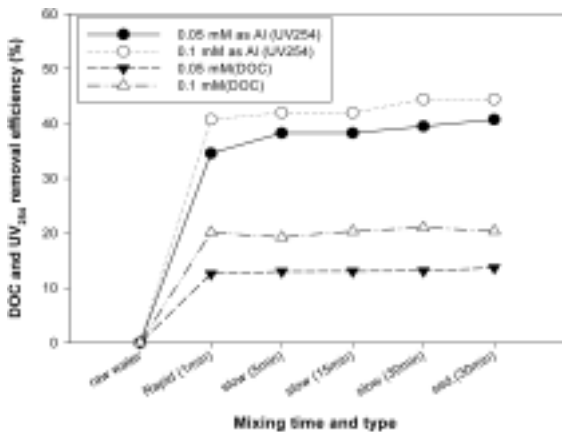


Fig. 4. Changes in DOC and UV₂₅₄ as a function of coagulant dose for raw water (Coagulant: alum).

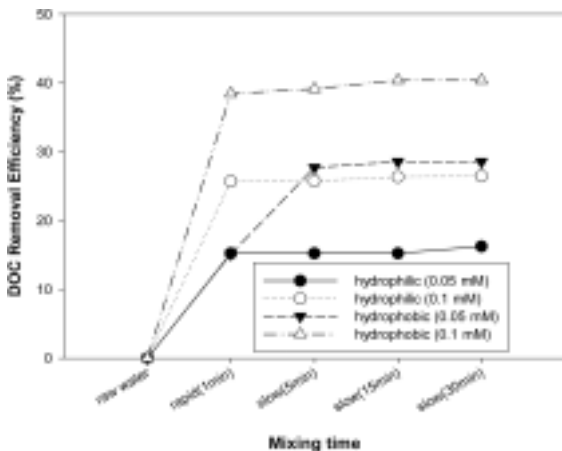


Fig. 5. Changes in DOC on organic fraction as a function of coagulant dose (Coagulant: alum).

3.3. 응집-막분리 공정 적용에 따른 투과 flux 변화

용존성 유기물질의 상(相)변화 결과에서 알 수 있듯이 막분리 공정에 앞서 적절한 전처리 공정의 적용은 효과적인 유기물 제거를 위해서 적합하다고 판단된다. 따라서 효과적인 유기물 제거를 위하여 응집공정과 막분리 공정을 결합하여 전처리 응집조건과 막의 특성에 따른 flux 변화와의 상관관계를 파악하고자 하였다. Fig. 6과 7은 낙동강 원수를 이용하여 응집공정을 적용할 경우 막의 재질에 따른 투과 flux의 변화를 나타내었다. 응집제는 alum 응집제를 사용하였으며 주입량은 0.05 mM as Al (15 mg/L Alum)이었다. Fig. 6은 응집공정의 적용시 급속교반 후 UF 공정과의 결합을 나타내고 있다. 급속교반 조건은 $G = 550 \text{ sec}^{-1}$ 에서 1분간 실시하였다. 그림에서 나타난바와 같이 전반적으로 친수성 재질의 막이 소수성 재질의 막에 비하여 투과 flux가 크게 나타나고 있다. 친수성 재질의 막의 경우 30분의 운전 후 투과 flux 조사결과 응집공정의 적용시 투과 flux가 15% 정도 높게 유지되었으나 소수성 재질의 경우 응집공정의 적용시 약 6% 정도의 차이를 보이고 있었다. 이는 소수성 재질의 막의 경우 친수성 재질의 막에 비하여 막의 공극에서 흡착에 의한 막오염이 크게 작용하기 때문이다. Jonsson의 연구²³⁾에서도 소수성재질의 막이 막오염 유발물질과 흡착성이 크게 작용하여 flux 감소가 크게 나타난다고 보고하였다. Fig. 7은 응집공정의 적용시 급속-완속교반 후 UF 공정과의 결합을 나타내고 있다. 급속교반은 $G = 550 \text{ sec}^{-1}$ 에서 1분간 실시하였으며 완속교반은 $G = 22 \text{ sec}^{-1}$ 에서 30분간 실시하였다. Fig. 6의 실험결과와 마찬가지로 친수성 재질의 막이 소수성 재질의 막에 비하여 투과 flux가 크게 나타나고 있으며 친수성 재질의 막의 경우 30분의 운전 후 투과 flux 조사결과 응집공정의 적용시 투과 flux가 12% 정도의 차이를 보이고 있으며 소수성 재질의 경우 응집공정의 적용시 약 7% 정도의 차이를 보이고 있다. 따라서 막의 재질에 따른 투과 flux 변화 결과, 소수성 재질의 막에 비하여 친수성 재질의 막의

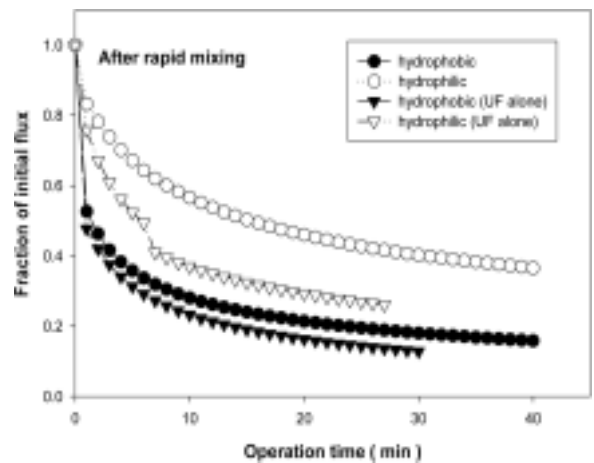


Fig. 6. Changes in flux of UF membrane for Nakdong river water after rapid mixing (UF MWCO: 100 kDa, Dose: 0.05 mM as Al).

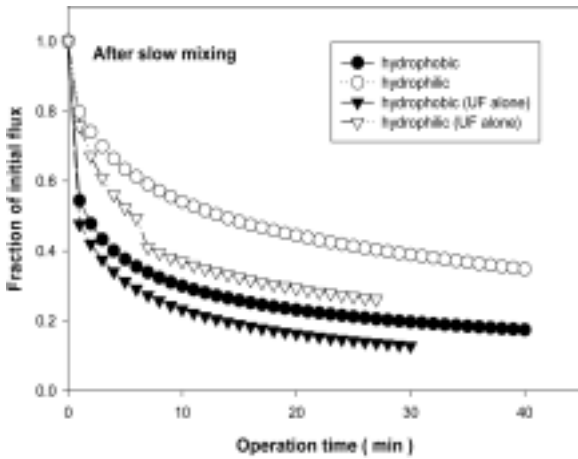


Fig. 7. Changes in flux of UF membrane for Nakdong river water after slow mixing (UF MWCO: 100 kDa, Dose: 0.05 mM as Al).

경우 상대적으로 높은 투과 flux를 유지하였으며 응집공정의 적용시 소수성 재질의 경우 투과 flux 향상에 큰 영향을 미치지 못하였으나 친수성 재질의 막의 경우 전처리 응집공정을 적용함에 따라 높은 투과 flux를 유지할 수 있었다. 그러나 교반조건(급속교반 후와 급속-완속교반 후)이 투과 flux에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 나타났다.

4. 결론

1) 인공시수와 낙동강 원수의 용존성 유기물질의 변화를 살펴본 결과 전처리 응집공정을 적용시 급속교반 후 용존성 유기물질이 입자상 유기물질로 전환이 발생하였으며 급속교반 초기 10초 사이에 용존성 유기물이 입자상 물질로 전환되었다.

2) 응집제 주입량이 0.025 mM as Al (7.5 mg/L Alum)이었을 경우 K값이 크게 나타났으나 0.05 mM as Al (15 mg/L Alum)이상으로 응집제 주입량이 증가할 경우 K값은 감소하였으며 0.15 mM as Al (45 mg/L Alum)까지 유사한 값을 보였다.

3) 낙동강 원수를 이용하여 전처리 공정으로 응집 공정을 적용시 UF 단독공정에 비하여 투과 flux 감소는 상당히 낮게 나타났으며 투과 flux 변화는 응집공정에 의하여 형성되는 입자크기 분포에 의존하였으며 응집조건에 따른 투과 flux 실험결과 급속교반-UF공정과 급속교반-완속교반-UF공정의 투과 flux는 유사하게 나타났다.

4) 막의 재질에 따른 투과 flux 실험결과 소수성 재질의 막에 비하여 친수성 재질의 막이 투과 flux가 높게 유지되었으며 응집제 자체의 금속성분에 의한 막오염 영향은 나타나지 않았다.

참고문헌

1. Taylor, J. S., Mulford, A., Duranceau, S. J., and Barrentt,

W. M., "Cost and performance of a membrane pilot plant," *J. AWWA*, **81**(11), 52~60(1989).

2. Dykes, G. M. and Conlon, W. J., "Use of membrane technology," *J. AWWA*, **81**(11), 43~46(1989).

3. Conlon, W. J., Hornburg, C. D., Waston, B. M., and Kedfer, C. A., "Membrane softening: The concept and its application to municipal water supply," *Desalination*, **78**, 157~175(1990).

4. Jacangelo, J. G., Aieta, E. M., Carns, K. E., Cummings, E. W., and Mallevalle, J., "Assessing Hollow-Fiber Ultrafiltration for particulate Removal," *J. AWWA*, **87**(11), 68~75(1995).

5. AWWA Membrane Technology Research Committee, 1998 Committee Report; Membrane Process, *J. AWWA*, **90**(6), 91~105(1998).

6. Bian, R., Watanabe, Y., Tambo, N. and Ozawa, G., "Removal of humic substances by UF and NF membrane systems," *Water Sci. Technol.*, **40**(9), 121~129(1999).

7. Fane, A. G. and Fell, C. J. D., "A review of fouling and fouling control in ultrafiltration," *Desalination*, **62**, 117~136(1987).

8. Fu, L. F. and Dempsey, B. A., "Modeling the effect of particle size and charge on the structure of filter cake in ultrafiltration," *J. Membrane Sci.*, **149**, 221~240(1998).

9. Jones, K. L. and O'Melia, C. R., "Ultrafiltration of protein and humic substances; effect of solution chemistry on fouling and flux decline," *J. Membr. Sci.*, **193**, 163~173(2001).

10. Wei, Y. and Andrew, L. Z., "Humic acid fouling during microfiltration," *J. Membr. Sci.*, **157**, 1~12(1999).

11. Chang, Y. J., Choo, K. H., Benjamin, M. M., and Reiber, S., "Combined adsorption-UF process increases TOC removal," *J. AWWA*, **90**(5), 90~102(1998).

12. Jang, N. Y., Watanabe, Y., and Ozawa, G., "The study on microfiltration membrane process combined with pre-ozonation," *J. JWVA*, **71**(2), 1~13(2002).

13. Jang, N. Y., Watanabe, Y., Minegishi, S., and Bian, R., "The evaluation of dead-end ultrafiltration membrane process combined with pre-coagulation/sedimentation," *J. JWVA*, **70**(2), 1~14(2001).

14. Watanabe, Y., Kasahara, S., and Iwasaki, Y., "Enhanced flocculation/sedimentation process by a jet mixed separator," *Water Sci. Technol.*, **37**(10), 55~67(1998).

15. Jung, C. W., Son, H. J., and Kang, L. S., "Effects of membrane material and pretreatment coagulation on membrane fouling: fouling mechanism and NOM removal," *Desalination*, **197**, 154~164(2006).

16. Gregory, J. and Duan, J., "Hydrolysing metal salts as coagulants," *Pure Appl. Chem.*, **73**(11), 1~10.

17. Amirtharajah, A., "Rapid mixing and the coagulation process," Proceedings of AWWA Annual Conference,

- Kansas(1987).
18. 김은주, 정철우, 최시환, 강임석, “정수공정시 급속혼화조건이 응집효율에 미치는 영향,” *대한환경공학회지*, **23**(4), 631~640(2001).
 19. Snoeyink, V. L. and Jenkins, D., *Water Chemistry*, John Wiley and Sons, NY(1982).
 20. Mhaisalkar, V. A., Paramasivam, R., and Bhole, A. G., “Optimizing physical parameters of rapid mix design for coagulation-flocculation of turbid waters,” *Water Res.*, **25**(1), 43~52(1991).
 21. Douglas, M. O., Gary, L. A., and Chowdhury, Z. K., “Characterization of natural organic matter and its relationship to treatability,” *AWWA Research Foundation and American Water Works Association*(1993).
 22. Edward, J. B., Goel, S., and Hozalski, R. M., “Removal of natural organic matter in Biofilters,” *AWWA Research Foundation and American Water Works Association*(1995).
 23. Jonsson, A. S. and Jonsson, B., “The influence of nonionic and ionic surfactants on hydrophobic and hydrophilic ultrafiltration membranes,” *J. Membr. Sci.*, **56**, 49~76(1991).