大韓環境工學會誌 · 논문
J. of KSEE Vol. 22, No. 7, pp. 1253~1261, 2000.
Journal of Korean Society of Environmental Engineers

정수공정별 천연유기물질의 특성 변화

황정은 · 강임석* · 김승현 · 윤조희**

경남대학교 공간환경시스템공학부
*부경대학교 환경공학과
**경남대학교 정밀화학공학부

(2000년 1월 26일 접수, 2000년 4월 17일 채택)

Variation of Natural Organic Matter Characteristics through Water Treatment Processes

Jeong-Eun Hwang · Lim-Seok Kang* · Seung-Hyun Kim · Cho-Hee Yoon**

Department of Architectural, Civil and Environmental Engineering, Kyungnam University
**Department of Environmental Engineering, Pukyong National University*
***Department of Fine Chemistry and Chemical Engineering, Kyungnam University*

ABSTRACT

Natural organic matter (NOM) which occurs ubiquitously in both surface and ground waters, consists of both humic (i.e., humic and fulvic acids) and nonhumic components. NOM in general as well as certain constituents are problematic in water treatment. From a regulatory perspective, concerns focus upon the role of NOM constituents as disinfection byproduct (DBP) precursors. The fractionation of NOM through water treatment processes can provide insight into treatment process selection and applicability. Problematic NOM fractions can be targeted for removal or transformation. Significant source-related differences in NOM were observed among various source waters.

This study found that bulk Dissolved Organic Carbon (DOC) concentration was hardly removed by oxidation process. Oxidation transformed high Molecular Weight (MW) hydrophobic fraction into low MW hydrophilic fraction. Ozone reduced s-pecific Ultraviolet Absorbance (SUVA) value more than chlorine. High MW hydrophobic fraction was effectively removed by coagulation process. About 50% of Trihalomethane Formation Potential (THMFP) was removed by coagulation process.

Key Words : Humic Acid, Fulvic Acid, Hydrophilic Fraction, Hydrophobic Fraction, NOM

요 약 문

천연유기물질은 지표수와 지하수내 탁도를 유발하고 humic (humic acid와 fulvic acid)과 nonhumic 성분으로 구성된다. 일반적으로 NOM은 소독부산물(DBP) 전구물질로써 수처리시 관심의 대상이 된다. 원수의 특성은 정수공정의 선택과 적용에 중요한 정보를 제공한다. 수원에 따른 NOM의 상당한 차이가 다양한 원수들 사이에서 관찰되었고, 문제시되는 NOM을 제거하고 전환시키기 위한 목적으로 정수공정을 적용한다.

본 연구의 결과, 산화처리에 의해 전체 DOC 농도의 변화는 거의 없었지만, 고분자의 소수성 물질이 저분자의 친수성 물질로 전환되었고, 염소보다 오존의 경우 그 산화력의 차이 때문에 SUVA 값의 감소가 더 크게 나타났다. 응집처리에 의해 hydrophilic 성분보다 분자량이 더 큰 hydrophobic 성분이 응집 · 침전되어 훨씬 잘 제거되었다. THMFP는 50% 정도까지 제거되었는데, 이것은 상대적으로 THMFP를 잘 유발시킨다는 humic acid 성분의 제거가 원활하게 일어났기 때문이다.

주제어 : 휴믹산, 펄빅산, 친수성 성분, 소수성 성분, 천연유기물질

1. 서 론

상수원수내에 존재하는 천연유기물질(NOM)은 유기물질의 총체로서 일반적으로 토양내의 유기물로부터 유출되거나, 인간의 활동으로 인한 오염을 통해 수계에 존재하게 된다. 분리 기술상의 용어로 정의할 때, 일반적으로 0.45 μm 보다 작은 유기탄소 화합물을 용존성 유기탄소(DOC)로 정의할 수 있는데, DOC의 주성분은 humic substance라고 하는 고분자 물질로서 NOM의 대부분을 차지한다. 생물체군의 퇴화 및 분해에 그 생성 근원을 가지는 humic substance는 구조가 거의 알려지지 않은 매우 복잡한 불균일 물질로써, 비정형질을 이루고 있고, carboxylic, hydroxyl, phenolic 등의 여러 관능기를 가지고 있는 polyelectrolyte로 DOC의 약 50% 이상을 차지하고 있다.[1,2] 이러한 humic substance는 상수원수내 맛과 냄새로 인한 심미적 영향, 미생물 재성장으로 인한 공중 위생에 미치는 잠재적 유해성, 물의 염소처리 과정에서 THMs(trihalomethanes)과 같은 소독부산물의 전구물질 형성 등의 문제점을 유발하므로,[3] 이를 제거하는 것은 오래전부터 수처리의 주요 관심 대상이 되어 왔다.[4]

NOM은 각 정수공정의 설계 및 운전 등에 주요 변수로 작용하고, 이러한 유기물질의 효과적인 제거가 정수공정에 있어 가장 중요한 사항이 되고 있어 그 구체적인 제거 방안에 대한 집중적인 연구가 진행중이다.[5] 그러나 상수원수별 유기물질의 성상이 각기 다르고 성상별 제거정도가 다르기 때문에, 기존의 DOC나 COD 등의 총량적인 분석방법만으로 유기물질 제거정도를 판단하기는 어렵다. 그러므로 원수의 유기물질 특성을 더욱 세분화하고, 보다 정확한 물리 · 화학적 특성 및 그에 따른 제거 특성과 공정별 유기물질의 각 성상에 따른 분율의 변화를 관찰해서, 원수의 성상에 따른 가장 효율적인 유기물질의 제거방법을 도출하여야 한다. 따라서, 본 연구에서는 원수와 각 정수공정을 거친 물을 hydrophobic fraction(humic acid와 fulvic acid)과 hydrophilic fraction으로 세분화시키고, 각 유기물질의 겉보기 분자량 분포(AMWD: Apparent Molecular Weight Distribution)를 파악하여, 각 공정별 유기물 조성의 변화를 관찰하고 유기물 제거를 위한 가장 효율적인 수처리 공정의 개선과 적용을 검토하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 유기물질의 성상 분류

천연유기물질(NOM)은 소수성 물질인 humic substance와 친수성 물질인 nonhumic substance로 분리하는데, humic substance는 300~30,000 Daltons의 분자량을 가지고,[6] 용해성에 기초해서 humin과 humic acid, fulvic acid로 분류된다. 본 연구에서는 NOM의 성상별 분류를 위하여 여러 분류 방법 중 Amberlite XAD-4와 XAD-8 수지로의 유기물의 흡착 및 탈착을 이용한 분류 실험을 행하였다.[7] 내경 1.5 cm, 높이 50 cm로 제작된 유리 칼럼에 XAD-4와 XAD-8 수지를 20 cm로 충진시켜 사용하였다. 시료 통과전 수지 자체의 DOC 농도가 매우 높기 때문에(약 1,000 mg/L), DOC 농도가 1 mg/L 이내에 들도록 메탄올 용매를 이용한 Soxhlet 추출장치로 추출후 1 N NaOH와 HCl로 수지를 세척하였다.[8]

칼럼에 충진시킨 수지를 건조된 상태로 두어서는 안되기 때문에 실험하는 동안 적어도 1 bed volume 정도의 순수로 채워 수지를 촉촉하게 유지하였다. 그리고, 시수의 통과속도는 10 mL/min으로 일정하게 유지하였다.

2.2. 유기물질의 분자량 분류

유기물질의 분자량별 분류 실험을 하기 위하여 한외여과 장치를 이용하였다. 본 연구에서는 Sartocon Micro System을 이용하여 각각 30, 10, 5 kD의 분자량 크기를 사용하였고, Amy의 계산 방법을 이용하였다.[9] 일정한 압력을 유지하기 위해서 유입구와 유출구에 압력 게이지를 장착시켜 유입압력과 유출압력을 각각 0.8과 0.4 bar로 일정하게 유지시켰다.

2.3. 유기물질의 전처리 공정

2.3.1. 오존처리

오존처리를 위해 feed gas로 산소를 사용한 무성방전법으로 오존을 발생시켰다. 오존처리는 20 L의 시료를 오존 접촉조에 넣어서 접촉시간 3분, 실험에 사용된 오존의 농도는 1.0~5.0 mg/L(as O_3)로 변화시키면서 실시하였다.

2.3.2. 염소처리

염소처리를 위해 5% 차아염소산 나트륨(NaOCl) 원액을 5,000 mg/L의 농도로 희석하여 시수 10 L에 주입하였다. 사용된 염소의 농도는 100 rpm에서 24시간 동안 접촉후 잔류염소 농도가 1 mg/L(as Cl_2)가 되도록 주입하였고, 농도를 변화시키면서 실험하였다.

2.3.3. 응집처리

응집처리를 위해 6개의 교반장치를 갖춘 Phipps and Birds사의 Jar-tester를 사용하였다. 응집제로 사용된 $Al_2(SO_4)_3 \cdot 16H_2O$는 0.25 M(as alum)의 stock solution을 만든 후 실험 하루 전날 10 g/L(as alum)로 희석하여 dosing solution을 만들어 사용하였다. Dosing solution을 실온에서 하루 방치하였다가 사용하는 것은 저장기간 동안의 aging effect에 의한 응집제 성상 변화를 막기 위해서이다. 이 dosing solution은 실험할 때마다 다시 제조하여 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 원수의 유기물 특성 변화

본 연구에 사용된 원수는 24시간 체류하는 강물과 저수지 물이 혼합된 H 수원지의 물을 사용하였다.

Table 1은 본 연구에 사용된 원수의 수질특성을 나타낸 것이다. Table 2는 원수에 대한 유기물의 성상 및 분자량별 구성 성분을 DOC 백분율로 나타낸 것이다. Hydrophobic 성분이 49%, hydrophilic 성분이 51%를 차지하였고, 대부분의 유기물의 분자량이 30 kD 이상이었다. 따라서, 원수는 자연적인 오염과 어느 정도의 인위적인 오염이 혼합된 것을 알 수 있었다.

Table 1. Characteristics of raw water examined

Parameters	Raw water
Temperature (℃)	20~25
pH	8.5~9.5
Turbidity (NTU)	10~20
UV_{254} (cm^{-1})	0.05~0.06
TOC (mg/L)	2.5~4.0
Alkalinity (mg/L as $CaCO_3$)	15~20

Table 2. Organic fractions and AMW distributions of raw water by DOC (Unit : mg/L)

Organic fractions		AMW distributions	
Hydrophobic base	3.3%	〉30 kD	43.8%
Fulvic acid	28.8%	30~10 kD	23.8%
Humic acid	16.9%	10~5 kD	7.7%
Hydrophilics	51.0%	〈 5 kD	23.3%

3.2. 오존처리시 유기물 특성 변화

다음은 오존처리시 유기물의 성상 변화를 살펴보았다. Fig. 1은 오존 주입량에 따른 DOC와 specific UV absorbance(SUVA)의 성상 변화를 나타낸 것이다. Hydrophilic 성분은 오존 주입량이 증가함에 따라 초기 DOC의 20% 정도까지 점차 증가하고, fulvic acid 성분은 오존 주입량이 증가함에 따라 점차 감소하고, humic acid 성분은 별로 차이가 없었다. 따라서, 오존처리시 hydrophobic 성분이 hydrophilic 성분으로 전환된다는 것을 알 수 있었다. 원수의 SUVA 값은 1.07로써 상당히 낮았는데, 오존처리후 SUVA 값이 더욱 감소하였다. 이는 오존처리에 의해서 단위 DOC 농도당 UV_{254} 흡광도가 상대적으로 높은 hydrophobic 성분이 더 많이 제거되어서 유기물질이 전체적으로 저분자인 친수성 화합물로 전환되었다는 것을 나타낸다.

Fig. 2는 오존 주입량에 따른 THMFP와 specific THMFP의 변화를 나타낸 것이다. 오존처리후 THMFP 값은 원수에 대비 30% 정도까지 감소하고, 특히 오존 주입량이 증가함에 따라 점차 감소하는 경향이 나타났다. Specific THMFP(THMFP/DOC) 값도 점차 줄어드는 것을 관찰할 수 있었다.

다음은 오존처리시 유기물의 분자량 변화를 살펴보았다. Fig. 3은 오존 주입량에 따른 DOC의 분자량 변화를 나타낸 것이다. 오존처리후 전체 DOC 농도는 약간의 감소를 보였지만, 30 kD 이상의 분자

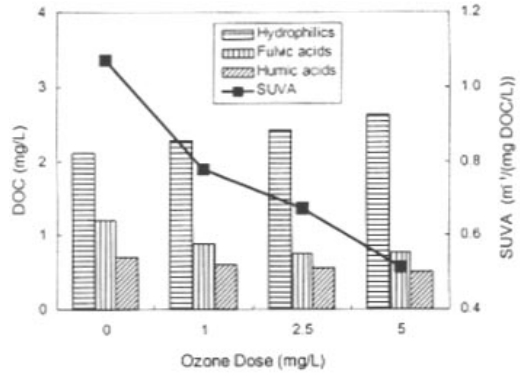

Fig. 1. NOM fraction change as a function of ozone dose by DOC and SUVA.

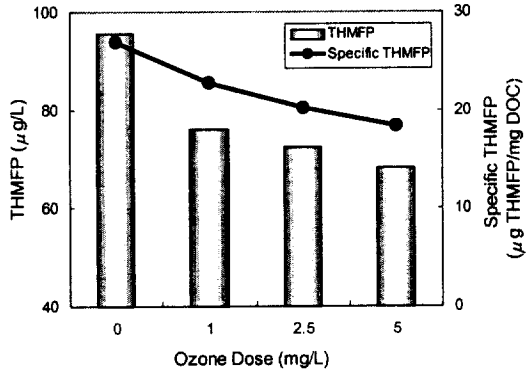

Fig. 2. Variation of THMFP and specific THMFP as a function of ozone dose.

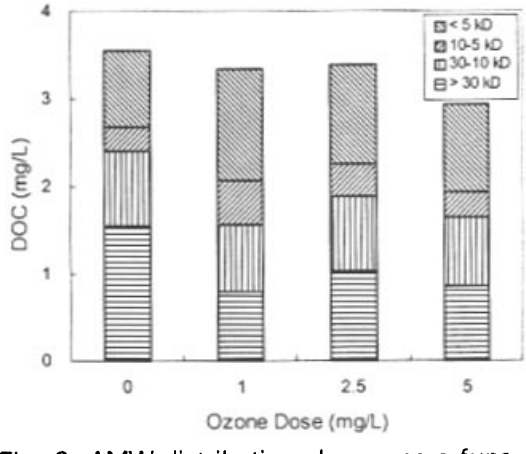

Fig. 3. AMW distribution change as a function of ozone dose by DOC.

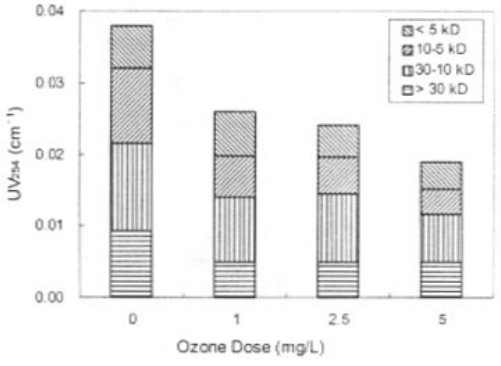

Fig. 4. AMW distribution change as a function of ozone dose by UV_{254}.

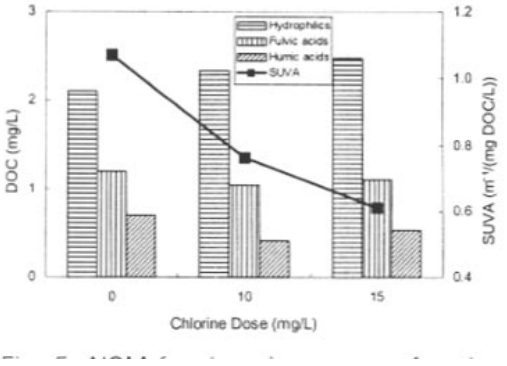

Fig. 5. NOM fraction change as a function of chlorine dose by DOC and SUVA.

량 범위의 유기물은 급격히 감소하고 5 kD 이하의 분자량 범위의 유기물은 증가하는 경향을 나타내었다. 따라서, 오존처리에 의해 유기물이 고분자에서 저분자로 산화되는 것을 알 수 있었다.

Fig. 4는 오존 주입량에 따른 UV_{254}의 분자량 변화를 나타낸 것이다. 원수와 비교해서 오존처리후 모든 분자량 범위의 UV_{254} 값은 대체로 감소하였고, 전체 UV_{254} 값은 40% 정도까지 감소되는 경향을 나타내었다.

3.3. 염소처리시 유기물 특성 변화

다음은 염소처리시 유기물의 성상 변화를 살펴보았다. Fig. 5는 염소 주입량에 따른 DOC와 SUVA의 성상 변화를 나타낸 것이다. 오존처리와 마찬가지로 hydrophilic 성분은 염소 주입량이 증가함에 따라 점차 증가하고, fulvic acid와 humic acid 성분은 염소 주입량이 증가함에 따라 약간 감소하는 경향을 볼 수 있었다. 따라서, 오존처리와 마찬가지로 염소처리시 hydrophobic 성분이 hydrophilic 성분으로 전환되었다. 오존처리와 마찬가지로 염소처리후 SUVA 값이 계속적으로 낮아졌는데, 이것은 고분자의 소수성 물질이 저분자의 친수성 물질로 전환되었다는 것을 나타낸다. 그리고 오존처리와 비교해 볼 때, SUVA 값의 감소 정도가 더 적게 나타나는데, 이것은 오존의 산화력이 염소보다 훨씬 크기 때문이다.

Fig. 6은 염소 주입량에 따른 THMFP와 specific

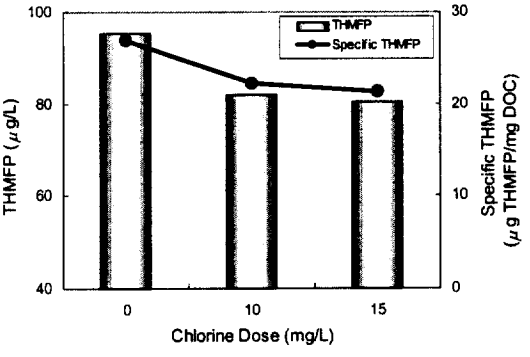

Fig. 6. Variation of THMFP and specific THMFP as a function of chlorine dose.

THMFP의 변화를 나타낸 것이다. 염소처리후 THMFP 값은 15% 이내의 극히 미소한 감소를 보이고, specific THMFP 값도 약간의 감소만을 보였다. 이것은 오존처리와 비교해서 그 정도가 상당히 낮았는데, THMFP 값의 감소 측면에서 염소처리는 오존처리에 비해 좋지 않다는 것을 나타낸다.

다음은 염소처리후 유기물의 분자량 변화를 살펴보았다. Fig. 7은 염소 주입량에 따른 DOC의 분자량 변화를 나타낸 것이다. 염소처리후 전체 DOC 농도는 약간의 증가를 보였고, 30 kD 이상 분자량 범위의 유기물질은 30% 정도까지 감소하였고, 5 kD 이하 분자량 범위의 유기물질은 급격히 증가하는 것을 관찰할 수 있었다. 따라서, 염소처리에 의해 고분자의 소수성 유기물질이 저분자의 친수성 유기물질로 전환됨을 알 수 있었다.

Fig. 8은 염소 주입량에 따른 UV_{254}의 분자량 변

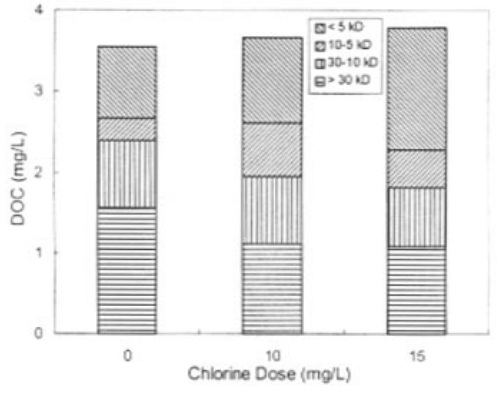

Fig. 7. AMW distribution change as a function of chlorine dose by DOC.

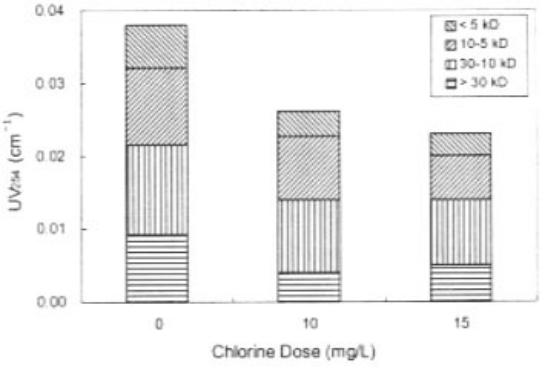

Fig. 8. AMW distribution change as a function of chlorine dose by UV_{254}.

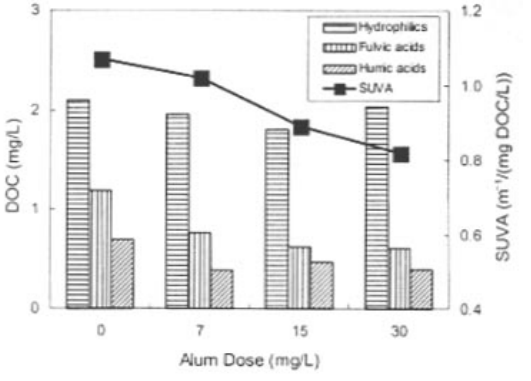

Fig. 9. NOM fraction change as a function of alum dose by DOC and SUVA.

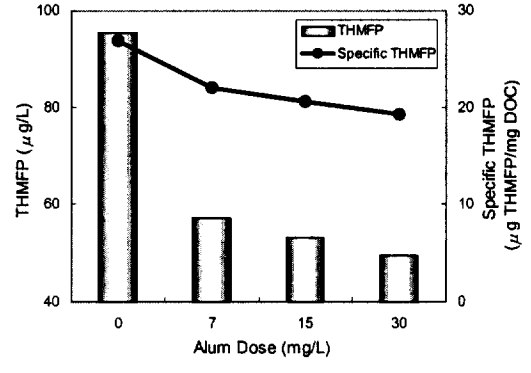

Fig. 10. Variation of THMFP and specific THMFP as a function of alum dose.

화를 나타낸 것이다. 오존처리와 마찬가지로 염소처리후 전체 UV_{254} 값은 30% 정도까지 감소하였고, 그 감소 정도는 오존처리에 비해 적게 나타났다. 따라서, 염소처리시 유기물의 산화가 일어났고, 오존처리에 비해 그 산화력은 떨어지는 것을 관찰할 수 있었다.

3.4. 응집처리시 유기물 특성 변화

다음은 응집처리시 유기물의 성상 변화에 대해서 살펴보았다. Fig. 9는 alum 주입량에 따른 DOC와 SUVA의 성상 변화를 나타낸 것이다. Alum 주입량이 증가함에 따라 hydrophilic 성분은 거의 변화가 없었지만, fulvic acid와 humic acid 성분은 30~40% 정도까지 감소하였다. 따라서, hydrophilic 성분에 비해 분자량이 큰 hydrophobic 성분의 응집 및 침전이 보다 용이하게 일어나는 것을 알 수 있었다. 원수에 비해 응집처리후 alum 주입량이 증가함에 따라 SUVA 값은 줄어들었는데, 고분자의 소수성 물질이 침전으로 제거되어 저분자의 친수성 물질이 주로 남아있다는 것을 알 수 있었다.

Fig. 10은 alum 주입량에 따른 THMFP와 specific THMFP의 변화를 나타낸 것이다. Alum 주입량이 증가함에 따라 THMFP 값은 50%, specific THMFP 값은 30% 정도까지 감소하였는데, 이것은 일반적으로 단위 DOC당 THMFP를 가장 크게 유발한다고 알려진 humic acid 성분의 제거가 용이하게 일어났기 때문인 것을 알 수 있었다.

다음은 응집처리시 유기물의 분자량 변화에 대해 살펴보았다. Fig. 11은 alum 주입량에 따른 DOC의 분자량 변화를 나타낸 것이다. Alum 주입량이 증가함에 따라 30 kD 이상의 유기물질은 침전으로

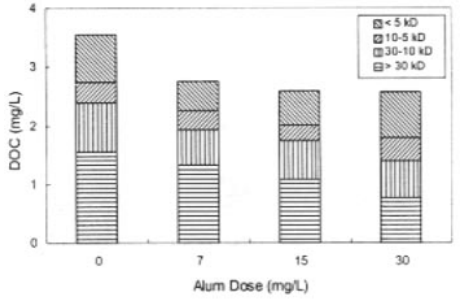

Fig. 11. AMW distribution change as a function of alum dose by DOC.

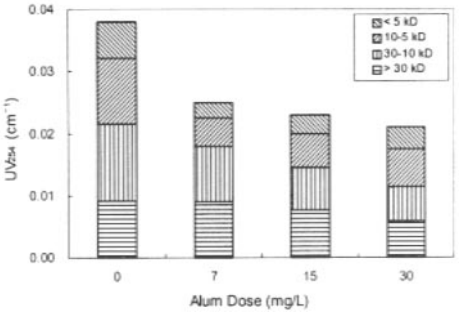

Fig. 12. AMW distribution change as a function of alum dose by UV_{254}.

제거되었고, 10~5 kD 범위의 유기물은 다소 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 분자량이 큰 유기물이 응집에 의해서 보다 더 효율적으로 제거되었고, 분자량이 작은 유기물은 제거되지 않거나 부분적으로 응집되어 분자량이 큰 유기물질로 전환되는 것을 관찰할 수 있었다.

Fig. 12는 alum 주입량에 따른 UV_{254}의 분자량 변화를 나타낸 것이다. 응집처리후 각각의 분자량 범위에서 30~50% 정도의 높은 제거율을 나타내었다. 이것은 응집처리에 의해 고분자의 UV_{254} 물질이 침전으로 제거되고 저분자의 유기물질이 응집되어 고분자의 유기물질로 전환된다는 것을 나타내었다.

3.5. 산화후 응집처리시 유기물 특성 변화

다음은 산화처리후 응집처리시 유기물의 성상 변화를 살펴보았다. 본 연구를 위해 오존처리는 2.5 mg/L(as O_3), 염소처리는 15 mg/L(as Cl_2), 응집

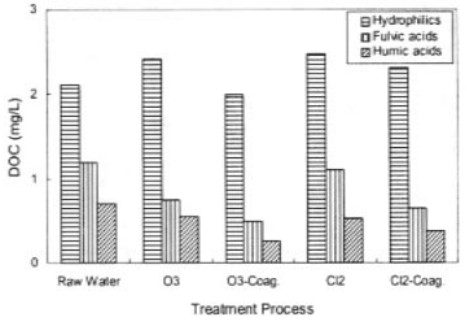

Fig. 13. Effect of treatment process on DOC fractions.

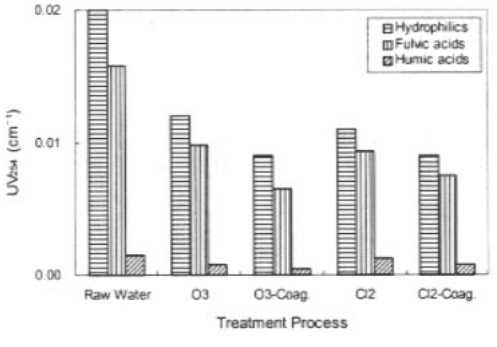

Fig. 14. Effect of treatment process on UV_{254} fractions.

처리는 15 mg/L(as alum)의 농도로 실시하였다.

Fig. 13은 처리 공정에 따른 DOC의 성상 변화를 나타낸 것이다. Hydrophilic 성분의 DOC 농도는 오존처리후 증가했다가 응집처리후 다시 감소하였고, fulvic acid와 humic acid 성분은 점차 감소하였다. 염소처리도 오존처리의 경우와 유사한 경향을 나타내었고, 제거효율이 오존의 경우 염소보다 훨씬 뛰어나게 나타났다. 따라서, 산화처리후 응집처리까지 고려하면 염소 보다 오존이 유기물질 제거에 훨씬 효과적인 것으로 나타났다.

Fig. 14는 처리 공정에 따른 UV_{254}의 변화를 나타낸 것이다. UV_{254}의 변화는 DOC의 경우와 유사한 경향을 나타내었다. Fig. 15는 처리 공정에 따른 THMFP와 specific THMFP의 변화를 나타낸 것이다. 처리 공정에 따라 THMFP와 specific THMFP 값은 점차 감소하였고, 그 감소 정도는 오존처리시 훨씬 크게 나타났다. 따라서, THMFP의 제거를 위

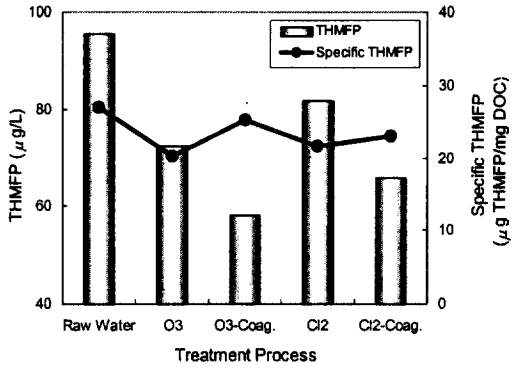

Fig. 15. Effect of treatment process on THMFP and specific THMFP.

해서 염소처리 보다는 오존처리의 적용이 훨씬 용이하게 나타났다.

다음은 산화처리후 응집처리시 유기물의 분자량 변화를 살펴보았다. Fig. 16은 처리 공정에 따른 DOC의 분자량 변화를 나타낸 것이다. 오존처리시 30 kD 이상 분자량 범위의 유기물질 함량은 줄어들고 10 kD 이하 분자량 범위의 유기물질 함량은 늘어나는 것을 볼 수 있는데, 이것은 유기물질의 산화에 의해 고분자의 소수성 물질이 저분자의 친수성 물질로 전환되기 때문이다. 응집처리시 10 kD 이하 분자량 범위의 저분자인 유기물은 응집에 의해 고분자화 되어 그 함량이 낮아졌고, 10 kD 이상 분자량 범위의 고분자인 유기물질은 응집에 의해 침전 제거되어 그 함량이 낮아졌다. 따라서, 응집처리시 분자량이 큰 성분의 유기물질은 물론 분자량이 작은 성분의 유기물질의 제거가 모두 용이한 것을 관찰할 수 있었다.

Fig. 17은 처리 공정에 따른 UV_{254}의 분자량 변화를 나타낸 것이다. 처리 공정에 따른 전체 UV_{254} 값은 오존처리후 35%, 응집처리후 55% 정도까지 감소하였다. 그리고, 처리 공정에 따라 각각의 분자량 범위의 UV_{254} 값도 점차 감소하는 경향을 보였다. 따라서, 오존처리시 고분자의 유기물질이 산화되어 저분자의 유기물질로 변화되었고, 응집처리시 저분자의 유기물질은 응집되어 고분자로 바뀌고 고분자의 유기물질은 응집되어 침전 제거되는 것을 관찰할 수 있었다.

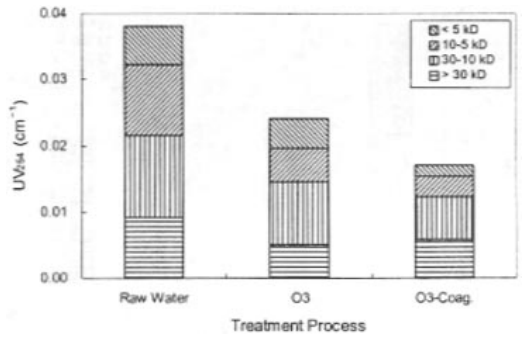

Fig. 16. Effect of treatment process on AMW distributions by DOC.

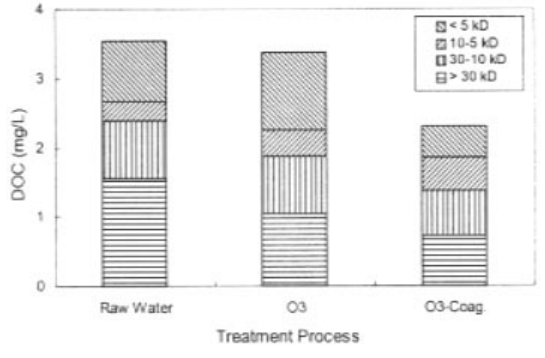

Fig. 17. Effect of treatment process on AMW distributions by UV_{254}.

4. 결 론

정수공정에 따른 유기물의 성상 및 분자량별 특성 변화를 살펴보기 위해서 오존처리, 염소처리, 응집처리 공정을 lab scale test로 수행하였다. 본 연구의 결과로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 본 연구에 사용된 상수원수의 유기물 조성은 fulvic acid가 28.8%, humic acid가 16.9%, hydrophilic 성분이 51.0%를 차지하였고, 분자량 분포는 30 kD 이상은 43.8%, 30~10 kD는 23.8%, 10~5 kD는 7.7%, 5 kD 이하는 23.3%를 차지하였다.
2) 오존처리에 의해 전체 DOC 농도의 변화는 거의 없었지만, 고분자의 소수성 물질은 저분자의 친수성 물질로 전환되는 것을 관찰할 수

있었다. 오존처리시 THMFP는 30% 정도까지 감소하고, 특히 오존 주입량이 증가함에 따라 점차 감소하는 경향을 나타내었다.

3) 염소처리시 DOC와 SUVA의 변화 경향은 오존처리와 비슷하게 나타났지만, 오존처리의 경우보다 염소의 산화력이 작기 때문에 그 변화 정도가 완만하게 나타났다. 염소처리후 THMFP는 15% 정도의 낮은 감소를 보였고, specific THMFP의 제거도 완만하게 나타났다.

4) 응집처리시 유기물질의 hydrophilic 성분의 제거는 거의 이루어지지 않았지만, hydrophobic 성분의 제거는 매우 높게 나타났다. 그리고, 분자량이 큰 유기물질은 응집되어 침전으로 제거되고, 분자량이 작은 유기물질은 제거가 되지 않거나 분자량이 큰 쪽으로 응집되는 경향을 보였다. 응집처리시 THMFP는 50% 정도까지 제거되었는데, 이것은 응집처리시 humic acid 성분의 제거가 용이하게 일어났기 때문인 것으로 알 수 있었다.

5) Hydrophilic 성분은 산화처리후 증가했다가 응집처리후 감소하였고, hydrophobic 성분은 특히 응집처리후 높은 제거율을 보였다. 응집처리 공정까지 고려할 경우 염소보다 오존처리가 훨씬 유리한 것을 관찰할 수 있었다. THMFP 제거도 역시 염소보다 오존처리시 더욱 용이하게 나타났다.

사 사

본 연구는 1998년도 부경대학교 교내연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Thurman, E. M., Organic geochemistry of natural waters, Durdrecht, Netherlands: Nijhoff/Junk Publishers(1985).
2. Plechanov, N., "Investigation of humic substances in natural waters," *Aquatic and Terrestrial Humic Materials*, E. Gjessing (Ed.), Ann Arbor, Mich.: Ann Arbor Science (1983).
3. Rook, J. J., *Envir. Sci. Tech.*, **11**, 478~482(1997).
4. Van der Kooji, D., The growth of bacteria on organic compounds in drinking water, Ph. D. dissertation, Agricultural Univ., wageningen, the Netherlands(1984).
5. 박주석, 박태진, 권봉기, "오존 및 오존/UV 산화법을 이용한 휴믹산의 분해와 THM 발생능 감소," 대한상하수도학회지, **10**(4), 55~63 (1996).
6. Aiken, G. R., McKnight, D. M., Wershaw, R. L., and MacCarthy, P., Humic Substances in Soil, Sediment, and Water, New York, Wiley-Interscience(1987).
7. Leenheer, J. A., "Comprehensive approach to preparative isolation and fractionation of dissolved organic carbon from natural waters and wastewaters," *Envir. Sci. Tech.*, **15**(5), 578~587(1981).
8. Thurman, E. M. and Malcolm, R. L., "Preparative isolation of aquatic humic substances," *Envir. Sci. Tech.*, **15**(4), 463~466(1981).
9. Amy, G. L., Collins, M. R., Kuo, C. J., and King, P. H., "Comparing gel permeation chromatography and ultrafiltration for the molecular weight characterization of aquatic matter," *AWWA*, **79**(1), 43~49 (1987).