

Molecular size distribution of NOM after ozonation and its effect on adsorption with activated carbon

NOM의 오존처리에 따른 분자크기분포변화가 활성탄 흡착에 미치는 영향

Hyung-Jik Lee¹ · Seong-Ho Hong^{2*}

이형직¹ · 홍성호^{2*}

¹KOTITI 시험연구원 · ²숭실대학교 화학공학과

Abstract : In this study, molecular size distribution of natural organic matter (NOM) after ozonation was measured and its effect on adsorption capacity of activated carbon was investigated. According to the results, the molecular size of NOM was limitedly changed. Specifically, the molecular size of NOM between 5,000 to 10,000 Da were slightly decreased with increasing ozone doses. The adsorption capacity after ozonation was evaluated using Freundlich isotherm with ideal adsorbed solution theory (IAST) which simulated the multi components adsorption. Further, mini-column test was conducted. The Freundlich constant, K was reduced after ozonation and the non-adsorbable fraction was increased with ozonation. However, no correlation between K and ozone doses was found. The present study also agreed with the correlation between adsorption capacity and pore size characteristics of activated carbon.

Key words : Ozonation, molecular size distribution, NOM, isotherm, RSSCT

주제어 : 오존산화, 분자량분획, 자연유기물질, 흡착등온식, RSSCT

1. 서론

최근 지속적인 경제발전과 국민들의 생활수준 및 지적의식 향상으로 인한 먹는 물에 대한 관심과 요구가 증가하면서, 58개 규제항목을 만족시킬 뿐만 아니라 맛·냄새와 같은 심미적인 요인도 만족시킬 수 있는 고도정수처리시설의 도입이 보편화 되고 있다.

고도정수처리시설의 도입은 정부의 '고도정수처리시설 설치사업'을 통해 1994년부터 단계적으로 시작되어 왔다. 맛·냄새물질, 소독부산물, 색도, 질소, 인, 음이온 계면활성제 등의 처리가 가

능한 것으로 알려진 고도정수처리기법으로는 활성탄 흡착처리, 오존처리, 생물활성탄 처리 및 막처리 등이 있다(Lee et al., 2003).

응집, 침전, 여과, 소독으로 구성되는 기존의 정수처리공정은 대장균이나 바이러스와 같은 미생물의 제거를 위한 염소처리공정을 사용하는 경우가 많은데, 이러한 경우, 잔류유리염소가 물속에 존재하는 풀빅산(fulvic acid) 또는 휴믹산(humic acid)과 같은 유기산들과 반응하여 THMs(Trihalomethanes), HAAs(Haloacetic acids)등과 같은 소독부산물들을 생성하는 것으로 알려져 있다.

다양한 자연유기물질 중에 수중에 존재하는 휴믹물질은 최근 NOM(natural organic matter)

또는 DOM(dissolved organic matter)으로 정의되기도 한다(Rebhun and Lurie, 1993). 수중의 NOM의 특성을 구분하는 방법으로는 크게 화학적인 방법과 물리적인 방법으로 나눌 수 있는데 화학적 방법으로써 이온교환수지를 사용하여 SPE(solid phase extraction)로 친수성 물질과 소수성 물질로 구분하는 방법(Jeong et al., 2003; Chae and Lee, 2008)과 물리적인 방법으로써 한외 여과막(ultrafiltration membrane)을 이용하여 분자크기 별로 나누는 방법(Hong and Jackson, 1997)이 있다.

수중에 존재하는 NOM과 잔류유리염소의 반응으로 생성되는 소독부산물의 생성을 억제하기 위해서 근래에는 오존을 대체산화제로서 사용하는 정수장이 늘어나고 있다. 미국에서는 DOC의 농도가 높아 소독부산물의 기준을 충족하지 못하는 경우에 보편적으로 오존을 사용하며, 국내의 경우에는 정수장 원수의 90% 이상이 대용량의 인공 호소 및 하천 표류수를 이용하므로 조류 등에 의한 맛·냄새물질의 문제가 심각한데, 이를 위한 최적의 공정으로 오존·활성탄 처리공정이 제안되었다(KICT, 1992). 현재 국내에서는 오존·활성탄 조합공정이 고도정수 처리의 표준공정 같이 되어 있다. 또한, 오존처리에 의해 자연유기물질은 분자량이 큰 물질에서 작은 물질로 변환될 수 있으며, 활성탄의 세공크기특성에 따라서 자연유기물질의 제거효율은 달라진다는 결과(Pelekani and Snoeyink, 1999; Newcombe et al., 1997)와 자연유기물질의 분자크기분포에 따라 활성탄에 의하여 제거되는 특징이 다르다는 연구결과도 발표되었다(Hong and Jackson, 1997).

본 연구에서는 오존에 의한 자연유기물질(NOM)의 분자 크기 변화에 따른 활성탄 흡착

특성을 고찰하였다. 첫번째로 오존에 의한 자연유기물질의 분자 크기 변화를 측정하였고, 다성분계흡착 해석을 위해 IAST(ideal adsorbed solution theory)를 적용하였으며, 최종적으로 RSSCT(rapid small-scale column test)에 기초한 mini-column을 설계 및 제작하여 오존처리에 의한 분자 크기 변화와 활성탄 세공의 상관관계를 평가하였다.

2. 연구방법

2.1 원수 및 오존포화수 특성

원수는 O강에서 채수하여 GF/C membrane으로 거른 용액이며, 오존포화수는 오존발생장치인 Model PC57-10(Ozonetech사)을 diffuser와 연결한 후, 원수가 담긴 semi-batch reactor에 O₃가스를 주입하여 제조하였다. 원수 및 오존포화수의 특성을 Table 1에 정리하였다.

탁도는 Turbidity meter Model 2100 A(HACH)으로 측정하였으며, pH는 pH meter model 420A(ORION)로 측정하였다. UV₂₅₄는 미리 증류수로 세척한 0.45 μm membrane에 시료를 여과시킨 후 254 nm 파장에서 Specord 200(Aanalytik Jena AG, Germany)을 이용하여 측정하였다. 용존유기탄소(DOC, dissolved organic carbon)는 시료를 0.45 μm Millipore membrane으로 여과한 후, Multi N/C 3000(analytik jena AG, Germany)을 이용하여 NPOC(non purgeable organic carbon)방법을 사용하여 분석을 하였다. DOC의 표준시료로는 Potassium hydrogen phthalate(C₆H₄(COOK)(COOH), Junsei Chemical, Japan)가 사용되었으며 산화방식은 combustion방식이며, 검출은 NDIR(non dispersive infrared detector)

Table 1. Characteristics of a filtered raw water and an ozone-saturated water

	Alkalinity(mg/L as CaCO ₃)	pH	Turbidity(NTU)	DOC(mg/L)	UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)
Filtered raw water	34 ~ 38	7.2 ~ 7.6	0.18 ~ 0.21	2.4 ~ 3.2	0.039 ~ 0.052
Ozone water	33 ~ 35	7.8 ~ 8.4	0.16 ~ 0.20	1.8 ~ 2.2	0.009 ~ 0.033

방식을 적용하였다.

실험에 사용된 4가지 농도(0.5, 1.0, 2.0, and 4.0 mg L⁻¹)의 오존용액은 오존포화수에 원수를 희석하여 제조하였으며, 용존된 O₃의 농도는 indigo method로 측정 한 후 다음과 같은 식으로 계산하였다.

$$C_f(\text{mg/L}) = \frac{C_1 Q_1 + C_2 Q_2}{Q_1 + Q_2} \quad (1)$$

C_f : 제조된 오존처리수의 오존의 농도 (mg-O₃/L)

C₁ : 원수 중의 오존의 농도 (mg-O₃/L)

C₂ : O₃ 포화수 중의 오존의 농도 (mg-O₃/L)

Q₁ : 원수의 유량 (L/min)

Q₂ : O₃ 포화수의 유량 (L/min)

2.2 분자량 분획 장치 및 방법

오존처리에 따른 NOM의 분자크기 변화를 측정하기 위해 stirred ultrafiltration cell(amicon model 8200)을 사용하여 분자량 분획을 수행하였고 Fig. 1은 간략한 실험 장치를 보여주고 있다.

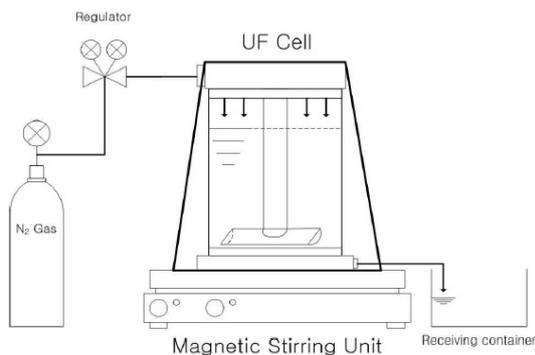


Fig. 1. Schematic design of a stirred ultrafiltration cell system

직경 63.5 mm인 cellulose acetate 재질의 친수성 한외 여과막을 사용하였으며, PLGC(10,000 molecular weight cut-off (MWCO)), PLCC(5,000 MWCO) 그리고 PLAC(1,000 MWCO)의 세 가지 막을 사용하여, 분자크기 10,000 Da 이상의 물질, 5,000 ~ 10,000

Da 사이의 물질, 1,000 ~ 5,000 Da 사이의 물질 그리고 1,000 Da 이하의 물질로 분획하였다. Cell에 가해진 압력은 2.5 kg/cm²로 분획을 하는 동안 일정하게 유지하였고, 전처리 단계로서 0.1 N NaOH 용액으로 막을 세정하고 초순수를 통과시킨 후 사용하였다. 실험에 사용된 시료의 양은 한번 분획에 200 mL를 사용하였고, 통과하지 못한 시료와 통과한 시료를 대상으로 DOC를 측정하여 물질수지를 검증하였다.

2.3 SUVA value

SUVA값은 유기물의 분자구조상 방향족 성분이나 이중결합을 갖는 유기화합물이 자외선을 흡수하는 성질을 이용한 것으로, UV₂₅₄(cm⁻¹)/DOC(mg/L)의 비로 나타내며 유기물의 특성 변화 및 제거 정도를 나타내는 유용한 지표로 사용되고 있다. Edzwald et al. (1985)에 의해 제시된 SUVA값에 대한 해석은 다음과 같다. SUVA값이 4보다 큰 값을 가지는 경우는 대부분 humic 물질로, 높은 분자량과 높은 친유성의 특성을 가지고, SUVA 값이 2에서 4사이의 값을 가지는 경우에는 humic 물질과 non-humin 물질들이 혼합된 경우이며, SUVA 값이 2보다 작은 경우는 대부분 non-humic 물질로, 낮은 분자량과 낮은 친유성의 특징을 가진다고 하였다.

2.4 등온흡착 특성

2.4.1 활성탄의 특성

GAC(granular activated carbon) 신탄 12×40 mesh 활성탄을 세척된 막자사발에 넣고 분쇄 후, sieve shaker(J-893, JISICO)를 이용하여 30분 동안 100 × 200 mesh에 통과시켜 체가름을 실행하였다. 100 mesh를 통과하지 못한 활성탄은 재 분쇄 후, 체가름을 실행하였고, 100 mesh에 활성탄이 남아있지 않을 때까지 반복 수행하였다. 선별된 활성탄은 세척된 유리병에 담아 밀봉하여 데시케이터에 보관하였다.

실험에 사용된 활성탄 A, B 그리고 C의 비표면적과 세공용적에 대한 특성을 Table 2에 나타내었다. 전체 표면적은 C > A > B 순서로 활성탄 C의 표면적이 가장 넓었으며, 활성탄 A는 micro 영역이, 활성탄 C는 meso 영역이 가장 넓은 것으로 나타났다.

Table 2. Characteristics of activated carbons

	Surface area(m ² /g)			Pore volume(cm ³ /g)		
	Total	Micro (d<2 nm)	Meso (d>2 nm)	Total	Micro (d<2 nm)	Meso (d>2 nm)
A	980	953	26	0.426	0.395	0.030
B	800	739	61	0.406	0.295	0.111
C	991	889	103	0.558	0.379	0.179

실험을 수행하기 전에 활성탄이 가지고 있는 세공내의 기포를 제거하기 위하여, 세척된 활성탄을 초순수에 담궈서 진공 데시케이터에 넣고 데시케이터내의 진공을 걸어 세공내의 기포를 제거한 후 실험을 수행하기 전까지 활성탄을 수중에 보관하였다. 보관기간은 하루를 넘기지 않았으며, 암실에 보관하였다.

2.4.2 등온흡착실험 및 다성분계 흡착거동 예측 방법

자연유기물질에 대한 등온흡착실험을 위하여 일정한 초기농도에서 활성탄의 양을 변화시키는 'Bottle point isotherm technique'을 수행하였다. 평형에 도달하는 시간을 단축하기 위하여 모든 입상 활성탄은 막자사발을 이용하여 325 mesh 이하로 분쇄하고 AMD HM-200(Japan)을 이용하여 ± 0.3 mg의 오차범위내로 측정하여 투여하였다. 사용된 시료병의 용량은 330 ml 이었고 시료와 접촉되는 부분에는 테프론으로 밀폐시켰다. 모든 시료병은 tumbler에서 10 RPM의 속도로 교반하였고 7일 후에 샘플을 이탈시켰다. 투여된 활성탄을 제거하기 위하여 0.45 μm Millipore membrane으로 여과하여 샘플을 얻

었고 시료는 즉시 분석하거나 즉시 분석이 불가능 할 경우 4 ℃로 냉장보관 하였다.

등온흡착 특성은 다성분계 흡착등온식인 IAST (ideal adsorbed solution theory)을 이용하였으며(Park, 2010), 원수와 오존처리수(초기농도 0.5, 1.0, 그리고 2.0 mgL⁻¹)의 등온흡착 특성을 해석하였다.

$$C_i = \frac{q_i}{\sum_{j=1}^N q_j} \left(n_i \frac{\sum_{j=1}^N \frac{q_j}{K_j}}{n_j} \right)^{\frac{1}{n_i}} \quad (2)$$

N : 용액에 있는 성분의 수

C_{i,0} : 성분 i의 액상에서의 농도

q_i : 성분 i의 평형 고상농도

n_i와 K_i : 성분 i에 대한 단일 성분에서의 Freundlich 상수

2.5 활성탄을 이용한 mini-column test

RSSCT(Rapid small-scale column test)의 설계식의 이론을 바탕으로 하여 mini-column에 필요한 각각의 인자를 산출하였고 운전조건 및 모식도를 Table 3과 Fig. 2에 나타내었다.

활성탄 세척과 세공의 기포를 제거한 뒤 슬러리 상태로 활성탄을 충전한 후, 충전된 활성탄에 약 20분간 초순수를 흘려보내 컬럼의 이상유무의 확인과 활성탄에서의 유기물질 용출에 대하여 검증하였다. 실험이 진행되는 동안 column 유출수 시료는 시간경과별로 채수를 하여 DOC 농도를 즉시 분석하였다. 또한 주기적으로 유입수의 DOC 농도를 측정하였다. 또한 실험과정에서 발생 가능한 유량의 변화를 추적하기 위하여 주기적으로 유량을 측정하였으며 유량이 적거나 많은 경우에는 보정하였고 발생하는 모든 유출수를 받아 시간으로 나누어 평균 유량을 평가하였다.

Table 3. Designed parameters and operating conditions of mini-column

Parameter	Value
Scaling factor(SF)	4.71
Size of activated carbon for large column	1,05 mm
Size of activated carbon for small column	0,223 mm
Column length	6,0 cm
Column diameter	3 mm
Flow rate	6 mL/min
Activated carbon	50×100 mesh

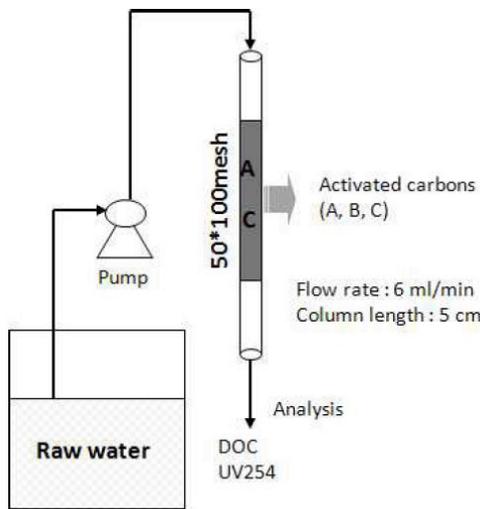


Fig. 2. Schematic diagram of mini-column.

3. 결과 및 고찰

3.1 NOM의 분자크기분포 특성

우선, 4가지 농도(0.5, 1.0, 2.0, and 4.0 mg L⁻¹)의 오존용액 도입에 따른 NOM의 변화를 측정하였다. 원수의 NOM 초기농도는 3.21±0.01 mgL⁻¹ 였으며, 0.5, 1.0, 2.0 그리고 4.0 mgL⁻¹의 오존용액으로 처리 후 NOM의 초기농도는 2.98±0.08, 2.88±0.13, 2.98±0.01, 그리고 2.66±0.05 mgL⁻¹이었다. 오존처리에 의하여 약간의 DOC의 감소는 있었으나 감소되는 양이 많지 않았으며, 적용되는 오존의 농도에 따른 NOM의 감소는 일정한 경향성을 보이지는 않았다.

원수, 그리고 4가지 농도의 오존용액으로 처리한 후의 NOM 분자크기분포를 측정하여 Fig. 3에 나타내었고, NOM 분자크기분포별 DOC 농도를 Fig. 4에 나타내었다.

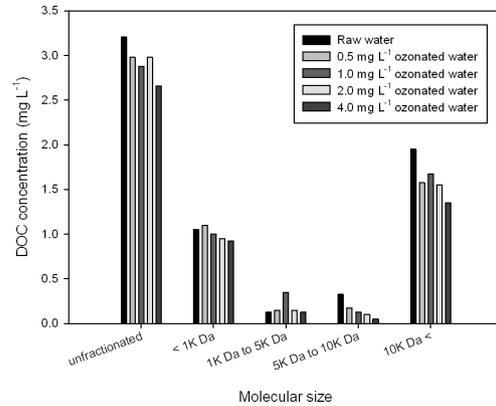


Fig. 3. Average DOC concentrations to accordance with molecular size distribution of NOM (a) before (raw water) and (b) after ozonation

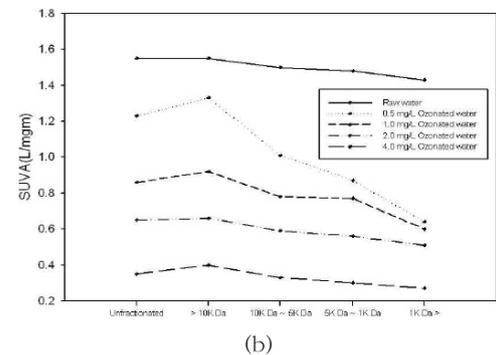
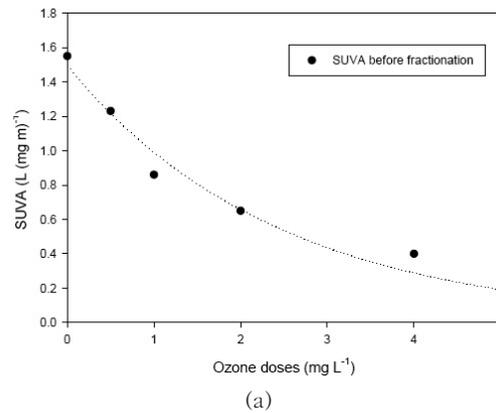


Fig. 4. SUVA values based on the molecular size and ozone doses.

원수와 비교하였을 때, 1,000 ~ 5,000 Da 사이의 물질들은 오존처리 이후 DOC 농도가 증가하는 경향을 나타내었고 5,000 Da 이상 범위의 물질들은 오존처리 이후 DOC 농도가 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 저분자량 물질보다 3,000 Da 이상의 물질에서 오존에 의한 분해가 잘 나타난다는 Zhang et al. (2008)의 연구 결과와 일치한다.

3.2 원수와 오존처리수의 SUVA 값 특성

원수와 4가지 농도의 오존용액이 적용된 NOM의 분자크기분포별 SUVA 값을 Fig. 4에 나타내었다. 분획하기 전 원수의 SUVA값은 1.55 L/mg · m였으며, 오존농도가 0.5 mgL⁻¹에서 4.0 mgL⁻¹로 증가할수록 SUVA값은 1.23 L/mg · m에서 0.4 L/mg · m으로 1차 분해경향형태로 감소하였다(Fig. 4 a). 또한, 분자크기분포와 주입 오존농도별 SUVA 값은 분자량이 작고 (5,000 Da 이하) 오존의 주입량이 많을수록 SUVA 값이 낮아지는 경향을 보였다. 이는 상대적으로 분자량이 작은 범위에서 이중결합 또는 방향족 물질의 함량이 낮아 분해되기 쉬우며, 오존처리로 인해 원수에 존재하는 NOM보다 상대적으로 낮은 친유성(hydrophobicity)의 NOM으로 특성이 변화함을 의미하는 것으로 판단된다.

3.3 등온흡착 특성

다성분계 흡착등온식에서 흡착이 되지 않는 성분(non-adsorbable fraction)은 K값(Freundlich 상수)을 0으로 고정하였으며, 3개의 흡착 가능한 성분(adsorbable fraction)인 weakly, middle, strongly-adsorbable fraction의 K값은 simulation으로 얻어진 K값과 실험값과의 차이를 최적화하여 나타내었다.

원수 및 오존용액으로 처리한 용액의 3가지 활성탄에 대한 등온흡착을 Fig. 5에 나타내었고, K값과 초기NOM농도대비 NOM 농도 %값을 Table 4에 나타내었다.

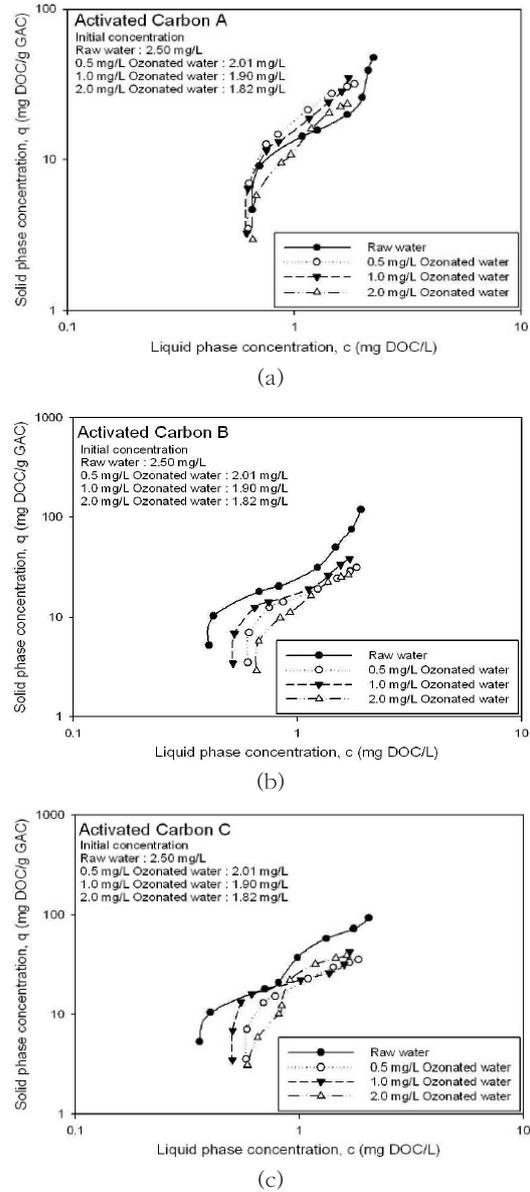


Fig. 5. Multi-components adsorption isotherms depended on the types of activated carbon and ozone doses.

원수에서 얻어진 활성탄 종류에 따른 결과(K값 및 원수의 초기 NOM 농도대비 NOM 농도%)를 살펴보면, 상대적으로 활성탄 A의 non-adsorbable fraction(K = 0)에 대한 농도%가 높았으며, 활성탄 B와 C는 낮았다. 또한 adsorbable fraction에 대한 K값 및 농도%도 활성탄 B

Table 4. Parameters (K_d , C_{0i}) from IAST predictions

Types	Ozone (mgL ⁻¹)	Measured C_{0i} (mgL ⁻¹)	Parameters (K_d , % ^a)				error(%)
			non-adsorbable	adsorbable			
				weakly	middle	strong	
A	0 ^b	2.50	(0, 26)	(15, 48)	(32, 17)	(108, 9)	1.85
	0.5	2.01	(0, 31)	(15, 24)	(33, 43)	(47, 2)	1.79
	1.0	1.90	(0, 32)	(14, 29)	(29, 32)	(94, 7)	2.15
	2.0	1.82	(0, 36)	(10, 26)	(26, 38)	(56, 0)	3.00
B	0 ^b	2.50	(0, 16)	(19, 35)	(56, 21)	(184, 28)	1.95
	0.5	2.01	(0, 30)	(16, 38)	(31, 20)	(44, 12)	2.83
	1.0	1.90	(0, 27)	(17, 44)	(44, 25)	(82, 4)	2.81
	2.0	1.82	(0, 36)	(11, 26)	(30, 37)	(36, 1)	2.86
C	0 ^b	2.50	(0, 14)	(15, 24)	(65, 47)	(168, 15)	1.36
	0.5	2.01	(0, 29)	(16, 24)	(35, 40)	(48, 7)	1.13
	1.0	1.90	(0, 27)	(24, 61)	(60, 0)	(86, 12)	3.12
	2.0	1.82	(0, 32)	(7, 14)	(39, 49)	(63, 4)	2.22

^a: % = $C_{0i}/C_0 \times 100$

^b: 원수

와 C에서 높았다. 이러한 결과는 원수에 포함된 NOM의 활성탄 A에서의 흡착은 낮으며, 활성탄 B와 C는 높음을 의미한다. 세부적으로는 활성탄 B는 strong-adsorbable fraction에 대한 흡착이 높으며 활성탄 C는 middle-adsorbable fraction에 대한 흡착이 높은 것으로 나타났다.

오존농도에 따른 3가지 활성탄의 흡착결과를 살펴보면, non-adsorbable fraction의 농도%는 오존농도에 관계없이 일정함을 알 수 있었다. 흡착가능 NOM 결과를 보면, 0.5 mgL⁻¹의 오존처리수에서는 활성탄 종류에 상관없이 흡착능의 차이는 나타나지 않았지만, 1.0과 2.0 mgL⁻¹의 오존처리수에서는 활성탄 C가 다른 활성탄에 비해 상대적으로 높은 K값을 나타내었다. 즉, 오존처리에 따른 용액에 존재하는 NOM은 활성탄 C에 상대적으로 잘 흡착됨을 의미한다.

원수와 오존처리수에서의 결과를 비교하면, non-adsorbable fraction의 농도%는 원수에 비해 오존처리수에서 높은 농도%를 나타내었는데, 이는 오존처리에 따른 NOM의 non-adsorbable fraction 증가를 의미한다. 흡착가능영역(adsorbable fraction)의 K값과 농도%

는 원수에 비해 오존처리수에서 낮은 값들을 가졌는데, 이는 오존처리된 NOM의 활성탄 흡착 감소를 의미한다. 이러한 낮은 오존처리 NOM의 활성탄 흡착을 분자크기분포 및 SUVA값 측정결과와 연계해 보면, 오존처리로 인해 원수에 존재하던 큰 분자(5,000 ~ 10,000 Da 범위)가 작은 분자(1,000 ~ 5,000 Da 사이)로 분해되지만, 오존처리된 NOM의 특성이 낮은 친유성으로 변화되어 non-adsorbable fraction을 증가시키는 것으로 판단된다.

또한, 활성탄별 등온흡착 특성과 세공특성을 비교해보면 활성탄 A에서 흡착되지 않는 물질(non-adsorbable fraction)의 양이 활성탄 B와 C보다 많이 나타났는데, 이는 활성탄 A의 meso영역이 적기 때문이라고 판단된다. 이는 Moore et al. (2001)이 보고한 mesopore와 macropore의 비율이 커짐에 따라 NOM의 제거효율이 향상되었다는 결론과 일치한다. 또한 Park (2010)은 활성탄의 micro영역이 차지하는 비율이 높으면 1,000 Da 미만의 분자량을 갖는 자연유기물질의 제거능이 뛰어나고, meso영역이 차지하는 비율이 높을수록 10,000 Da 이상

의 분자량을 갖는 자연유기물질의 제거능이 뛰어나다고 보고하였다.

결과적으로 3가지 활성탄에 대한 흡착결과는, 활성탄 B와 C가 활성탄 A에 비해 우수함을 알 수 있었으며, 이는 활성탄 B와 C가 상대적으로 높은 meso 이상 영역을 가지고 있기 때문인 것으로 사려 된다. 특히, 오존처리 NOM은 meso 이상 영역의 비율이 가장 높은 활성탄 C에서 우수한 흡착특성을 보였다(본 연구에서 사용된 활성탄 A, B, 그리고 C의 meso 이상 영역의 비율은 0.03, 0.08, 그리고 0.1이었다).

3.4 Mini-column을 이용한 활성탄의 파과특성

원수 및 오존용액 적용에 따른 NOM 파과특성을 Fig. 6에 나타내었다.

원수의 NOM 초기농도는 $3.76 \pm 0.02 \text{ mgL}^{-1}$ 였으며, 오존농도 0.5, 1.0, 그리고 2.0 mgL^{-1} 으로 처리한 용액의 NOM 초기농도는 3.71 ± 0.01 , 3.60 ± 0.1 , 그리고 $3.62 \pm 0.1 \text{ mgL}^{-1}$ 이었다. 원수에 대한 활성탄별 제거능은 활성탄 B와 C가 활성탄 A보다 우수함을 알 수 있었으며, 오존처리 NOM에 대한 활성탄별 제거능은 활성탄 C가 다른 활성탄에 비해 우수함을 알 수 있었다. 또한 원수의 NOM과 오존처리 NOM에 대한 제거능은 활성탄의 종류에 상관없이 원수의 NOM에 대한 흡착제거가 우수함을 알 수 있었다. 이러한 mini-column 실험 결과는 다성분계 흡착등온 실험 결과와 일치함도 확인할 수 있었다.

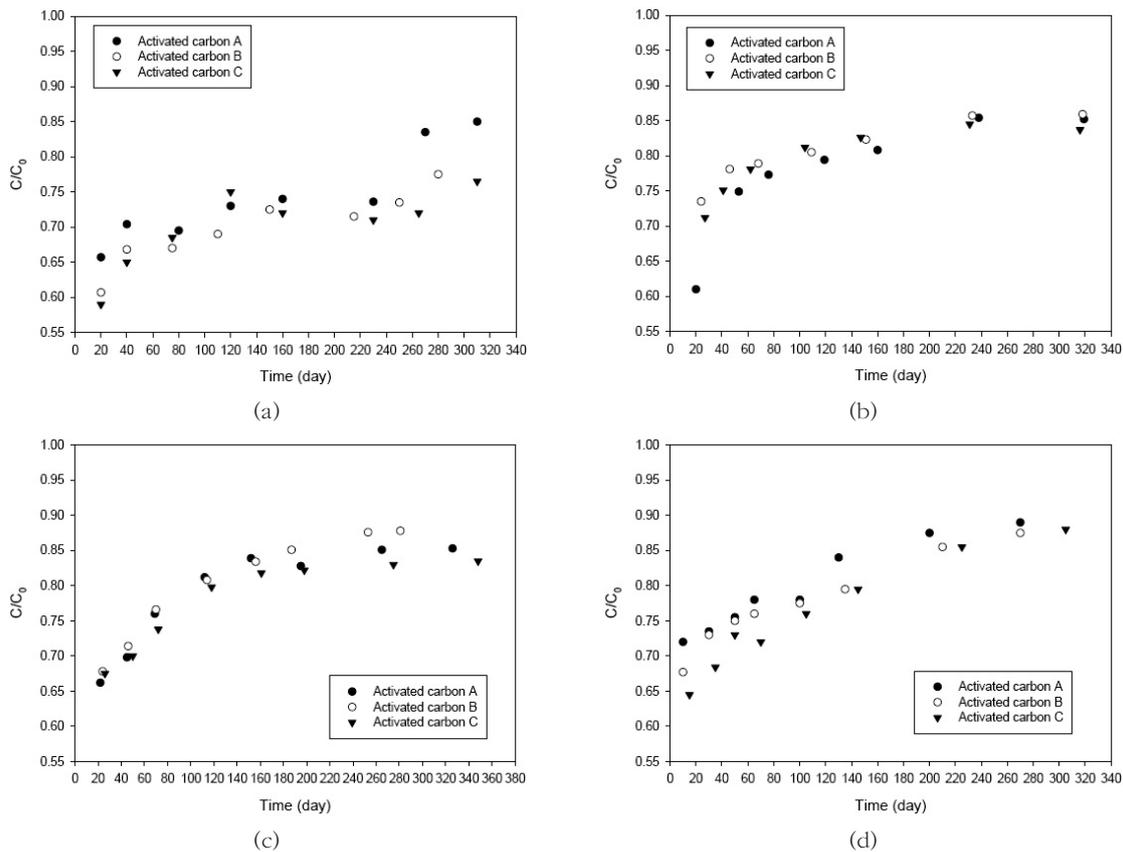


Fig. 6. Breakthrough curves for NOM depended on the types of activated carbon in (a) raw water, (b) 0.5 mgL^{-1} ozonated water, (c) 1.0 mgL^{-1} ozonated water, and (d) 2.0 mgL^{-1} ozonated water.

4. 결론

원수와 오존용액 적용에 따른 자연유기물질의 분자크기분포는 오존용액을 적용하였을 때, 5,000 ~ 10,000 Da 범위의 물질은 감소하고 1,000 ~ 5,000 Da 사이의 물질은 증가하였다. 오존농도가 증가할수록 SUVA값은 감소하였으며 분자크기가 작을수록 오존농도 증가에 따른 SUVA 값의 감소가 급격히 일어났다. 이러한 결과는 오존처리에 따라 NOM이 분해되어 분자크기가 작아지며 낮은 친유성을 가지게 된다는 것을 의미한다. 3가지 활성탄을 이용한 등온흡착실험 및 mini-column test 결과는 원수의 NOM의 흡착이 오존처리 NOM의 흡착보다 우수함을 보여주었으며, 오존처리 NOM의 흡착 감소는 낮은 SUVA값과 non-adsorbable fraction의 증가에 의한 것으로 판단된다. 또한 원수의 NOM은 활성탄 B와 C에 의해 효율적으로 제거될 수 있으며, 오존처리 NOM은 활성탄 C에 의해 효율적으로 제거됨을 알 수 있었는데, 이는 활성탄 C와 B가 meso 이상 영역의 세공이 우수하기 때문인 것으로 판단된다.

참고문헌

- Chae, Seon-ha, Lee, Kyung-hyeog. (2008) Evaluation of granular activated carbon process focusing on molar mass and size distribution of DOM, *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, **22**, pp.31-38.
- Edzwald, J.K., Becker, W.C. and Wattier, K.L. (1985) *J. AWWA*, **77**, pp.122-132.
- Hong, Seong-ho and Jackson, Jennifer L. (1997) Characterizing GAC breakthrough of natural organic matter on molecular size fractions by ultrafiltration, *J. of KSEE*, **19**, pp.661-670.
- Jeong, Jin-yeong, Kang, Gil-yun, Yun, Dong-hyeon, Kim, Yun-seong, Seo, Geun-hag, Im, Jun-hyeog. (2003) A study on the adsorption of natural organic matter by activated carbon from drinking water, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **14**, pp.1127-1132.
- Korea Institute of Construction Technology (KICT). (1992) A study on treatment of taste & odor causing substances in drinking water.
- K-water. (2001) Encyclopedia of drinking water treatment technology.
- Lee, Seong-u, Lee, Hyeon-dong, Han, Myeong-ho, Gwag, Dong-hui, Kim, Chung-hwan. (2003) *Advanced drinking water treatment-Theory and application*.
- Moore, B. C., Cannon, F. S., Westrick, J. A., Metz, D. H., Shrive, C. A., DeMarco, J., Hartman, D. J. (2001) Changes in GAC pore structure during full-scale water treatment at Cincinnati: a comparison between virgin and thermally reactivated GAC, *Carbon*, **39**, pp.789-807.
- Newcombe, G., Drikas, M., Assemi, S. and Beckett, R. (1997) Influence of characterised natural organic material on activated carbon adsorption: I. Characterisation of concentrated reservoir water, *Wat. Res.*, **31**, pp.965-972.
- Park, Jung-soon. (2010) Effects of meso- and micro-pores of activated carbons on the adsorption of NOM, *MS Thesis*, Soongsil University.
- Pelekani C. and Snoeyink V. L. (1999) Competitive adsorption in natural water: role of activated carbon pore size, *Wat. Res.*, **33**, pp.1209-1219.
- Rebhun, M. and Lurie, M. (1993) Control of organic matter by coagulation and floc separation, *Wat. Sic. Tech.*, **27**, pp.1-20.
- Zhang, T., Lu, J., Ma, J., Qiang, Z. (2008) Comparative study of ozonation and synthetic goethite-catalyzed ozonation of individual NOM fractions isolated and fractionated from a filtered river water, *Wat. Res.*, **42**, pp.1563-1570.