

동북 호소수의 응집침전 및 활성탄 흡착에 의한 용존유기물 분자량 분포 특성

정 경 훈 · 최 형 일 · 정 오 진 · 손 인 규*
조선대학교 환경공학부 · 광주광역시 환경관리과
(1997년 10월 15일 접수)

Molecular Weight Distribution Characterization of Organics for the Dongbok Lake Water by Coagulation and Adsorption of Activated Carbon

Kyung-Hoon Cheong, Hyung-Il Choi, Oh-Jin Jung, and In-Gyu Son*
Division of Environmental Engineering, Chosun University, Kwangju, 501-759, Korea,
*Environmental Management division, Kwangju Metropolitan city
(Manuscript received 15 October 1997)

The Dongbok lake water before and after alum coagulation and activated carbon adsorption were analyzed in terms of organic contents, molecular weight distributuin (MWD), and UV-absorbance. Dissolved organic compounds in the Dongbok lake were fractionated into three molecular size classes by gel permeation chromatography. The fractionation was reasonably successful in isolating compounds with $MW > 10,000$ (Fraction I) and those with $3,000 < MW < 10,000$ (Fraction II), and $3,000 > MW$ (Fraction III). The bulk of the dissolved carbon was present in compounds of molecular weight in the range of 3,000~10,000. Alum coagulation preferentially treated molecules of high molecular weight, which has molecules larger than 10,000. The dissolved organic carbon (DOC) removal after activated carbon adsorption was high in the Fraction II, III. The A_{260}/DOC ratio after alum and activated carbon treatment was high in the Fraction I, II. This results suggest that the organics remaining after each treatment has a trihalomethane formation potential

Key words : gel permeation chromatography, molecular weight distribution, alum coagulation, activated carbon adsorption

1. 서 론

자연수내에 존재하는 여러 물질들 중 용존성 휴믹물질은 용존성 유기탄소의 약 50%정도이며 나머지는 amino acid, carboxyl acid, protein, carbohydrates 등으로 구성되어 있다(Gary et al., 1987). 이러한 용존성 유기물질은 상수에서 색도, 맛 및 냄새의 유발물질이며, 소독제의 필요량을 증대시킬 뿐 만 아니라 소독제로 사용되는 염소와 반응하여 Trihalomethanes(THMs)과 같은 물질을 생성하는 것으로 알려져 있으므로 용존성 유기물질의 제거는 일반적인 정수처리 공정의 운영에 있어서 중요한 과제라고 할 수 있다.

그러나 현재의 전형적인 정수처리방식(급속여과 시스템)에서는 탁도의 제거와 소독이 중심역할을 하고 있으며, 용해성의 트리할로메탄 전구물질, 냄새, 색도, 음이온 계면활성제, 암모니아성 질소 등은 제거되지 않고, 수도수중에 잔류하게 된다. 이러한 성분의 제거방법으

로서 현재 실용화되고 있는 단위공정은 활성탄 처리, 오존처리, 생물처리 등이 있다(佐藤 등, 1992).

일반적으로 humic물질은 분자량 및 산이나 알칼리에서의 용존상태에 따라 humic acid와 fulvic acid로 나눌 수 있으나, 이러한 것은 특정한 화학구조를 갖는 단일 구조는 아니다(정오진, 1995). 이러한 불특정 구조의 humic물질의 거동을 연구하는데 있어서 널리 이용되고 있는 방법으로 유기물질에 대한 분자량 분포를 측정하고 있다(Schnoor et al., 1979; Abdullah and Walter, 1987; Collins et al., 1986). 분자량 분포를 측정하기 위하여 사용되는 방법으로는 Small-angle X-ray Scattering, Ultrafiltration(UF), Gel permeation Chromatography(GPC) 등이 있으나 이들 중 GPC와 UF가 가장 널리 이용되고 있다. 특히 GPC는 연속적인 Apparent molecular weight(AMW) 분포를 얻을 수 있고, UF는 분자량 범위를 선택적으로 분획할 수 있으며,

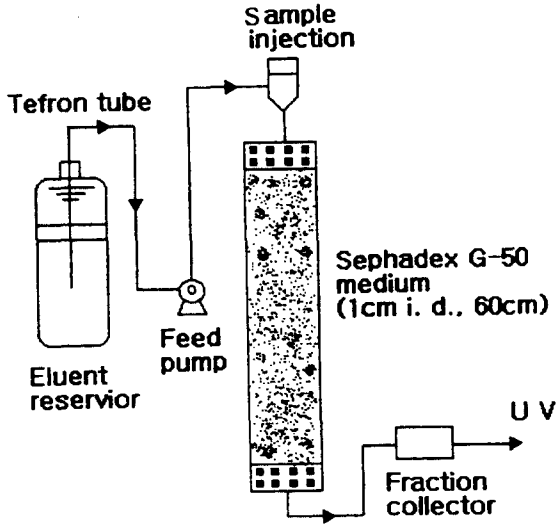


Fig. 1. Schematic diagram of experimental gel permeation system.

수질의 처리성 평가를 위한 분류법으로 GPC에 대한 많은 연구가 이루어졌다(Grasso and Weber, 1988; Milot et al., 1987; Gloor et al., 1981; Schneider et al., 1984).

Abdullah과 Walter(1987)은 자연수와 화학적으로 처리한 물에 대한 분자량분포를 조사하여 트리할로메탄 생성 전구물질과의 관계를 조사하였으며, 龜井 등(1994)은 유기용존 성분의 처리계에 있어서의 거동을 Gel chromatography에 의해 분획한 성분 분자량의 크기와 자외부 260nm 흡광도를 지표로 하는 2차원 matrix에 의해 얻을 수 있음을 보고한 바 있다. Davis와 Gloor(1981)는 호소수의 용존 유기물을 Aluminum oxide로 흡착시키는 데 있어서의 분자량의 영향을 보고하였으며, Gary et al.(1987)은 하천수의 용존 유기물의 분자량 특성을 GPC와 UF를 이용하여 조사하였다. 국내에서는 윤재용 등(1996)이 GPC를 이용하여 수도권 매립지 침출수 처리공정의 유기물 분자량 분포특성을 조사한 바 있고, 배병욱 등(1996)은 침출수 유기물의 분자량 분포 특성 및 휴믹물질 함량을 조사하였으며, 여창훈(1995)은 낙동강 원수의 오존처리 전후의 분자량 분포 변화를 보고한 바 있다. 대체로 침출수에 대한 GPC의 연구는 많이 이루어지고 있으나, 국내의 하천수 및 호소수에 대한 연구는 미미한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 GPC를 이용하여 호소수를 대상으로 호소수의 원수와 응집처리 및 활성탄흡착 전후의 유기물 제거와 용존유기물 분자량 분포 특성을 조사하고, 또한 THMs 생성에 관여하는 전구물질의 분자량 분포를 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 실험 재료

2.1.1 시료

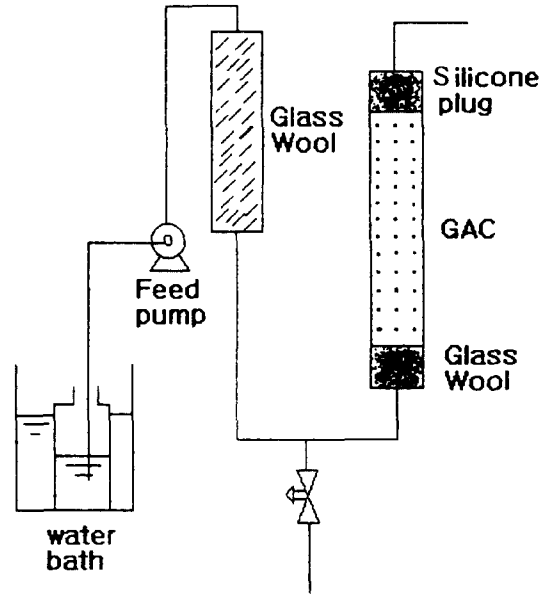


Fig. 2. Gel permeation chromatogram for pre-treated Dongbok lake water.

본 실험에 사용한 시료는 K 광역시 정수장에 공급되는 동북호 원수이며, Gel permeation chromatography (GPC)에 사용한 원수, 응집처리수, 활성탄 처리수는 0.45 μ m membrane filter로 여과한 후, 저비점용 rotary evaporator(Buch R-114, switzerland)로 30 $^{\circ}$ C에서 50배 농축하였다.

GPC칼럼은 Fig. 1과 같이 내경 15mm, 길이 60cm의 유리관을 사용하였으며, gel은 Sephadex G-50(Pharmacia Biotech, Sweden)을 사용하였다.

2.1.2 응집제

응집제로는 액체 황산알루미늄(LAS:Al₂O₃8%)과 polyaluminum chloride (이하 Poly AC)를 사용하였다.

2.1.3 활성탄

분말활성탄(powdered activated carbon: PAC)은 Charcoal을 사용하였으며, 입상활성탄(granular activated carbon: GAC)은 Union Carbon社의 활성탄을 mesh 13~18(입경 1~1.7mm)과 mesh 19~20(입경 850~1000 μ m)으로 나눠 사용하였다. 입상활성탄은 3차 증류수로 100 $^{\circ}$ C에서 30분간 끓이고 냉각시킨 후 3차 증류수로 수회 세척하여 세공내의 미분을 제거하였으며, 세척된 입상활성탄은 105 $^{\circ}$ C에서 건조시킨 후 밀봉하여 보관하였다. 칼럼에 충전하기 전에 50 $^{\circ}$ C에서 가열하여 세공내의 기포를 제거하고 칼럼에 충전하였다(이영식과 손진언, 1995; 浦野 등, 1991).

2.2 실험방법

2.2.1 응집실험

응집실험은 Jar tester를 이용하였으며, 응집조건은

Table 1. Analytical conditions of gel permeation chromatography

Classification	Analytical conditions
Column	Glass column ($\phi 1.5\text{cm i.d.} \times 60\text{cm}$)
Packing materials	Sephadex G-50 (medium) (Exclusion limit MW 1,500~30,000)
Eluent	10^{-3}M NaHCO_3 (pH 7.0)
Injection volume	2 mL
Total bed volume	100 ml
Void volume	30 mL
Calibration material	Polyethyleneglycol

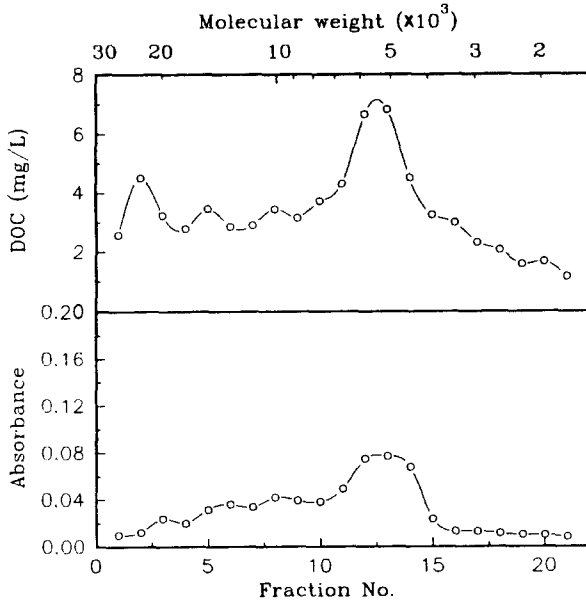


Fig. 3. Gel permeation chromatogram for pre-treated Dongbok lake water.

급속교반(160 rpm) 2분, 완속교반(60 rpm) 10분을 실시하고, 30분간 정치시킨 후 상등수를 채취하여 수질을 측정하고, 최적 응집제 주입농도를 결정하였다.

2.2.2 활성탄 흡착실험

분말활성탄을 이용한 회분식 실험은 삼각플라스크에 원수 500mL를 넣고 여기에 분말활성탄 15mg/L 또는 30mg/L이 되도록 투여하여 흡착량을 조사하였다. 입상 활성탄은 연속실험에 사용하였으며, 소량의 시료수로 흡착실험을 하기 위하여 Fig. 2와 같은 고정상 흡착장치를 사용하였다. 칼럼 흡착실험에 있어서 물 흐름에 대한 관벽의 영향을 무시하기 위한 칼럼의 직경은 흡착제 직경의 15배 이상이 필요하다(浦野 등, 1991). 본 실험에 사용한 칼럼은 직경 3cm, 길이 30cm의 유리관을 사용하였으며, 칼럼내부에서의 기포발생을 막기 위해 미리 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 water bath에서 시료수를 가온하여 탈기하였으며, 시료수는 하향류로 통수하였다. 또한 현탁물질과 기포발생을 최소화하기 위하여 GAC칼럼 앞에 유리섬유로 충전된 칼럼을 설치하였다.

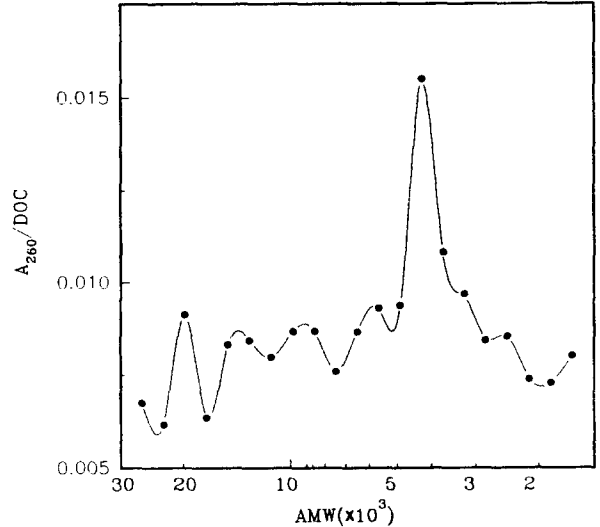


Fig. 4. A_{260}/DOC with apparent molecular weight for Dongbok lake water.

2.2.3 겔보기 분자량 결정

농축한 시료의 겔보기 분자량 분포(apparent molecular weight distribution ; AMWDs)분획을 위한 gel은 상한배제한계 30,000과 하한배제 한계 1,500인 Sephadex G-50을 사용하였으며, 시료 주입량은 2mL 이고 GPC 분획조건은 Table 1에 나타내었다.

2.3 분석방법

총유기탄소(Total organic carbon ; TOC)는 TOC analyzer(Shimazu, TOC-5000A)를 사용하여 측정하였으며, 본 연구에서는 시료를 여과하여 측정하였고, 이를 DOC(Dissolved organic carbon)로 표기하였다. UV흡광도 260nm는 증류수를 대조액으로 하여 1cm 석영 cell을 이용한 UV-VIS Spectrophotometer(HP8452)로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 원수의 분자량 분포 분획

Fig. 3에는 원수를 GPC한 결과를 나타내었다. DOC 및 자외선 흡광도의 피크가 매우 유사한 Chromatogram을 얻을 수 있었으며, DOC의 회수율은 91.8%였다. Chromatogram에서 DOC의 피크변화는 겔보

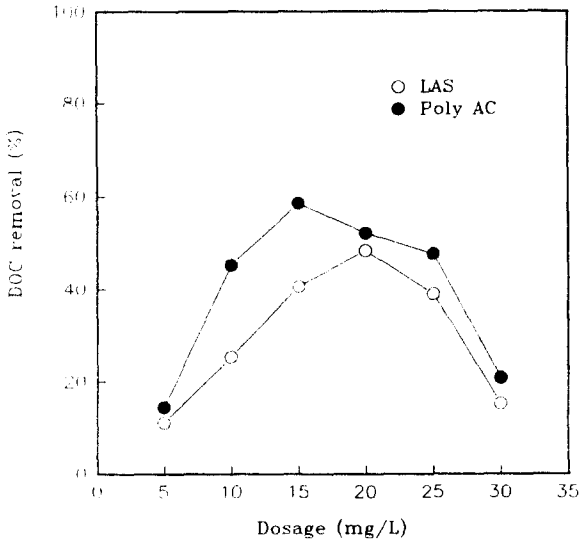


Fig. 5. Effect of Alum dosage on DOC removal for Dongbok lake raw water.

기분자량(AMW)이 10,000 정도와 3,000정도에서 변화된 것을 볼 수 있다. 따라서 본 실험에서는 AMW 10,000과 3,000을 기준으로 하여 AMW>10,000(이하 Fraction I 로 표기)과 3,000<AMW<10,000(이하 Fraction II 로 표기), AMW.3,000(이하 Fraction III 로 표기)등 3가지 범위로 분류하였다.

겉보기 분자량 분포를 DOC농도 분포로 살펴보면 Fraction I 은 28.6%, Fraction II 는 54.1%, Fraction III 은 17.3%를 나타내었다.

한편 UV₂₆₀은 유기물 농도를 측정하기 어려운 경우에 유기물의 무하량을 나타내는 surrogate인자로 널리 사용되며, 龜井 등 (1994)이 THMs의 전구물질을 UV₂₆₀흡광도 값으로 예측한 바와 같이 본 연구에서도 THMs의 전구물질을 UV₂₆₀(이하 A₂₆₀로표기)로 예측하였다.

Fig. 4에는 Fraction에 따른 A₂₆₀/DOC의 비를 나타내었다. 丹保와 堤行 (1982)는 유기물의 조성을 나타내는 지표로서 A₂₆₀/DOC의 비를 제안하였는 바, 일반적으로 수중유기물의 THMs 생성능과 A₂₆₀/DOC비 사이에는 상관관계가 있으며 A₂₆₀/DOC의 비가 크면 THMs 생성능이 높음을 보고하였다.

본 실험의 A₂₆₀/DOC의 비는 Fraction II에서 상대적으로 높게 나타났으며, 이는 丹保와 堤行 (1982)의 보고와 같이 이 분자량 범위에서는 THMs의 생성에 관여하는 유기물이 많이 포함되었음을 알 수 있다.

3.2 응집침전 후의 상등수의 분자량 분포

동북호 원수중의 유기물을 제거하기 위하여 응집제를 사용하여 응집침전시켰다. 응집제로는 액체 황산알루미늄(LAS)과 폴리염화알루미늄(Poly AC)를 사용하였으며, Jar tester 실험결과는 Fig. 5와 같다. LAS의 농도 20 mg/L, Poly AC 농도가 15mg/L일 때 유기물 제거율이 가장 높았으며 각각 48%, 59%의 DOC 제거율을 나타

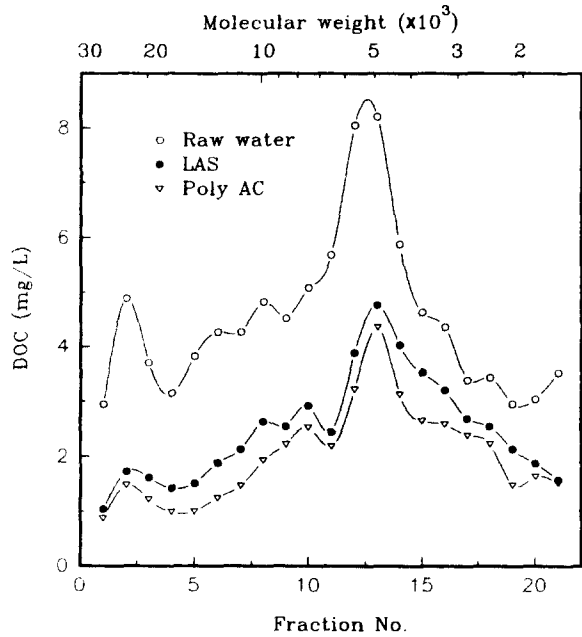


Fig. 6. Gel permeation chromatogram for Dongbok lake water before and after treatment.

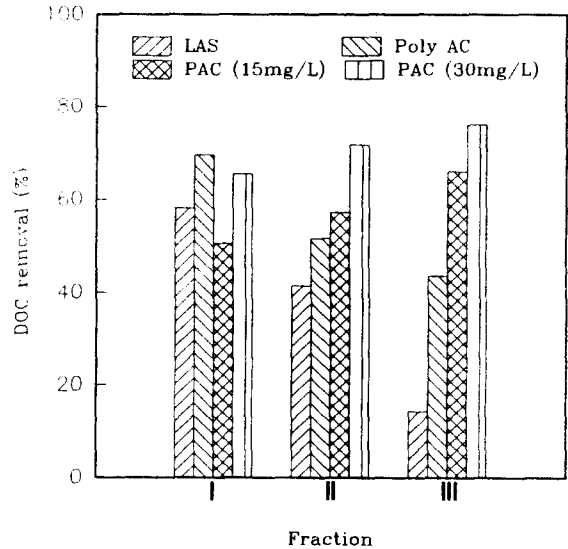


Fig. 7. DOC removal for molecular weight fractionation treated with alum coagulants and powdered activated carbon.

내었다. LAS 20mg/L, PAC 15mg/L를 사용하여 응집 침전한 후의 상등수에 대한 GPC 결과를 Fig. 6에 나타내었으며, 각각의 Fraction에 대한 DOC 제거율은 Fig. 7에 나타내었다. 원수의 분자량 분포비율을 보면 Fraction I 이 28.6%, Fraction II 는 54.1%, Fraction III 은 17.3% 이며, LAS(20mg/L)로 처리하였을 경우 Fraction I 은 21.7%, Fraction II 는 57.5%, Fraction III 은 20.8%로 나타나 고분자량과 중간분자량에서

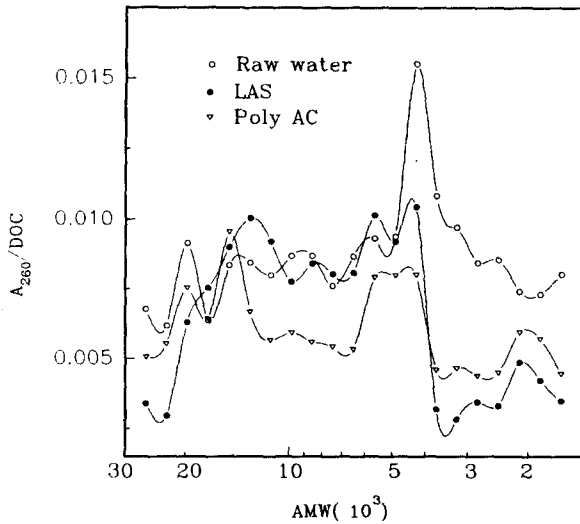


Fig. 8. A_{260}/DOC with apparent molecular weight for Dongbok lake water before and after treatment.

분포비율이 감소된 반면에 저분자량의 분포비율은 약 4%정도 증가하는 것으로 나타났다. 이 때의 DOC 농도의 제거율을 보면 Fraction I이 58.2%, Fraction II는 41.5%, Fraction III은 14.3%로서 고분자쪽의 제거율이 높게 나타났다. PAC(15mg/L)로 처리한 경우, Fraction I은 19.5%, Fraction II는 58.7%, Fraction III은 21.8%로 고분자량의 분포는 약간 감소한 반면에 중간과 저분자량에서의 분포는 LAS와 마찬가지로 약 4%정도 증가하였다. 각 Fraction에서의 DOC제거율은 Fraction I이 69.6%, Fraction II가 51.7%, Fraction III은 43.6%로 LAS처리의 경우처럼 마찬가지로 고분자량쪽의 제거율이 높게 나타났다.

한편 각 Fraction에서 응집제로서 액체 황산알루미늄과 폴리염화알루미늄을 사용하였을 때의 DOC제거율을 비교해보면 폴리염화알루미늄을 사용하였을 때가 각 Fraction에서 용존유기물 제거율이 높았다.

Adullah와 walter(1987)는 Huron river water를 alum응집처리하여 TOC로 80%정도 제거되었을 때의 분자량분포는 40,000 이상은 0%, 3,000~40,000 사이는 18%, 3,000 이하는 82%로서 고분자량쪽의 제거율이 높음을 보고하였으며, Davis와 Gloor(1981), Takeuchi et al.(1991)은 역시 각각 호소수 및 하천수를 처리하였을 때, 고분자량쪽에서 높은 제거율을 보고하였다. 이것은 응집제가 작은 분자량의 유기물보다는 분자량이 큰 유기물을 응집침전시킨 결과로 사료된다.

한편 Schnoor et al.(1979)는 Iowa강의 용존유기물 중 90%는 분자량이 3,000 이하이며, THMs를 형성하는 75%의 유기물질이 이 Fraction에 속하고 있음을 나타내었고, 또한 Abdullah와 Walter(1987)는 TOC로 52%제거되었을 때, 40,000 이하의 분자량분포에서 대부분 THMs를 형성한다고 보고하였다.

Fig. 8에서는 응집처리수의 A_{260}/DOC 비가 거의 모든

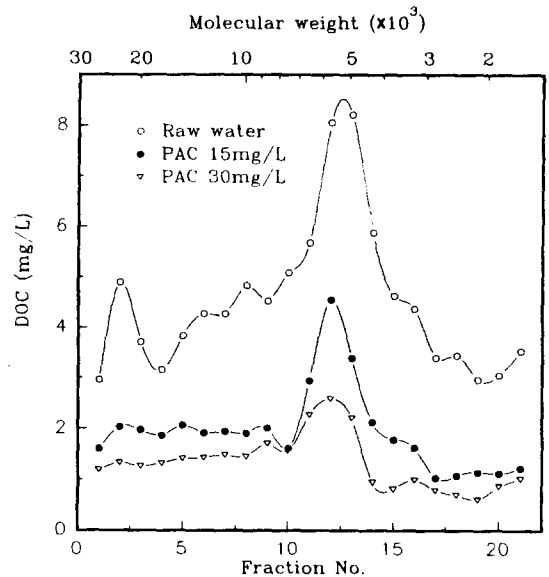


Fig. 9. Gel permeation chromatogram for Dongbok lake water before and after PAC treatment.

Fraction에서 높게 나타나고 있지만, Fraction III보다는 Fraction I과 II에서 높게 나타나고 있어 THMs의 형성은 Fraction I과 II의 범위에서 높게 생성될 것으로 생각되며, 이것은 동북호 원수를 LAS와 PAC로 처리를 한다면 Fraction III보다는 I과 II범위에서 THMs가 많이 형성될 것으로 예측할 수 있다.

3.3 분말 활성탄 처리수의 분자량 분포

분말활성탄(PAC)을 각각 15mg/L, 30mg/L이 되도록 투여하여 동북호 원수의 TOC 처리정도를 조사한 결과, 실험 1시간후에 평형에 도달하였으며 DOC 제거율은 각각 65%와 77%이었다. 분말활성탄 15mg/L(TOC 65%제거), 30mg/L(TOC 77%제거)의 농도에서 회분실험을 하여 얻어진 피크의 변화는 Fig. 9와 같으며, DOC 제거율은 Fig. 7에 나타내었다. 분말활성탄 15mg/L를 주입한 경우 용존유기물의 겔보기 분자량 분포는 Fraction I, 32.8%, Fraction II, 53.6%, Fraction III, 13.6%로 나타났으며, DOC제거율은 Fraction I, II, III에서 각각 50.6%, 57.3%, 66.1%이었다. 또한 분말활성탄 30mg/L를 주입한 경우의 용존유기물 겔보기 분자량분포는 Fraction I, 33.7%, Fraction II, 52.2%, Fraction III, 14.1%이며, DOC제거율은 Fraction I, II, III에서 각각 65.5%, 71.8%, 76.1%이다. 두 경우 모두 Fraction III의 낮은 분자량 쪽에서 용존유기물 분포율이 낮고 DOC제거율은 높았다.

이러한 결과는 높은 분자량보다 낮은 분자량일수록 활성탄에 쉽게 흡착되며 또한 활성탄의 양이 증가할수록 활성탄흡착 면적의 증가로 인해 용존유기물의 흡착율이 높은 것으로 사료된다. 한편 분말활성탄과 응집제를 사용하였을 때의 용존유기물의 제거율을 비교해보면, Fig. 7에서와 같이 분말활성탄 농도 15mg/L일 때,

Table 2. Molecular weight distribution and DOC removal for Dongbok lake water treated with granular activated carbon

Molecular weight range	Removal and composition after granular activated carbon treatment			
	mesh 13 - 18 (RUN 1)		mesh 19-20 (RUN 2)	
	Removal(%)	Composition(%)	Removal(%)	Composition(%)
> 10,000 (Fraction I)	52.9	31.4	47.7	32.1
3,000 ~ 10,000 (Fraction II)	61.6	48.6	58.1	48.8
< 3,000 (Fraction III)	50.5	20.0	48.5	19.1

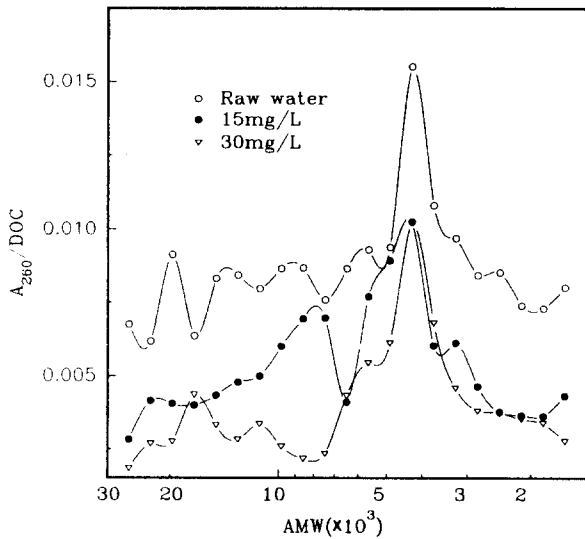


Fig. 10. A_{260}/DOC with apparent molecular weight for Dongbok lake water before and after PAC treatment.

Fraction I에서 응집제보다 용존유기물 제거율이 낮은 것을 제외하고, Fraction II, III에서는 분말활성탄을 사용하였을 때가 용존유기물 제거율이 높았다.

Fig. 10에서처럼 A_{260}/DOC 비는 Fraction II가 Fraction I과 III보다 상대적으로 높게 나타났으며, 이것은 Fraction I과 III에서 THMs 전구물질이 상대적으로 많이 제거되었음을 의미하고, 분말활성탄 처리시에는 THMs의 생성에 관여하는 물질은 Fraction II의 범위에 속하는 용존유기물임을 추측할 수 있다.

3.4 입상활성탄 처리수의 분자량 분포

활성탄 크기를 mesh 13~18(이하 Run 1), mesh 19~20(이하 Run 2)의 2종류로 분류하여 칼럼에 충전하고 공탑접촉시간 (empty bed contact time; EBCT)을 14분으로 고정하여 실험을 행하였다. GPC에 사용한 시료는 원수가 충분히 활성탄에 접촉되었다고 생각되는 2일째의 처리수를 사용하였다.

GPC 한 결과는 Fig. 11과 같으며, DOC 제거율은

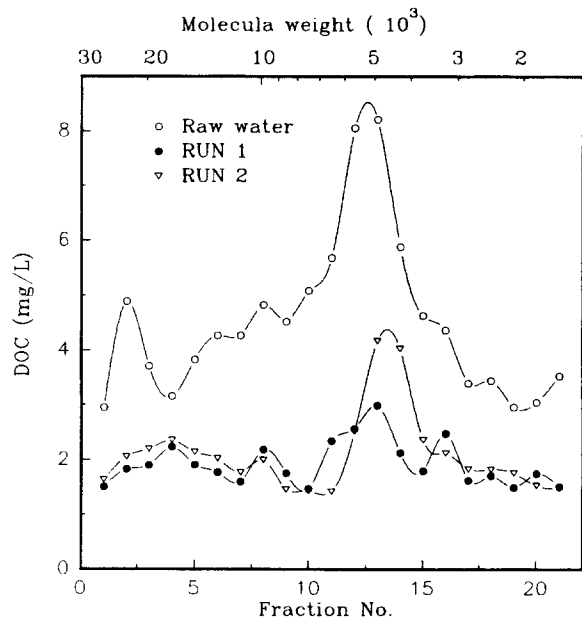


Fig. 11. Gel permeation chromatogram for Dongbok lake water before and after GAC treatment.

Table 2에 나타내었다. Run 1에서 용존유기물의 겔보기분자량 분포는 Fraction I이 31.4%, Fraction II는 48.6%, Fraction III는 20%이었으며 각 Fraction I, II, III에서의 DOC제거율은 각각 52.9%, 61.6%, 50.5%이었다.

Run 2의 경우에는 용존유기물의 겔보기 분자량 분포는 Fraction I이 32.1%, Fraction II는 48.8%, Fraction III는 19.1%이었으며, DOC제거율은 Fraction I, II, III에서 각각 47.7%, 58.1%, 48.5%로 나타났다. Run 1과 Run 2 모두 각 Fraction에서 거의 비슷한 용존유기물 분자량 분포변화와 DOC제거율을 나타낸 것으로 볼 때, 본 실험에서 나는 입상활성탄의 mesh는 거의 의미가 없음을 알 수 있다. 그러나 입상활성탄에 잘 흡착하는 용존유기물의 겔보기 분자량 분포는 Fraction II가 Fraction I, III보다 다소 높은 것으로 나타

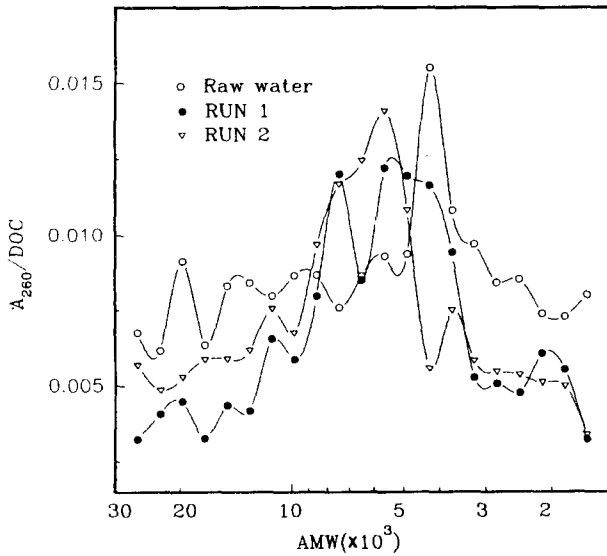


Fig. 12. A_{260}/DOC with apparent molecular weight for Dongbok lake water before and after GAC treatment.

났으며, 이것은 Fraction II의 용존유기물의 분포가 다소 높기 때문에 활성탄에 있어서의 흡착율도 높은 것으로 보인다. 일반적으로 활성탄의 공극 크기와 활성탄의 표면적에 따라 흡착되는 유기물의 분자량 크기는 다르며, 높은 분자량의 경우 macropore가 많은 활성탄이 유리하고, 분자량의 크기가 작은 용존유기물이 활성탄에 흡착되기 쉽다는 연구보고와 일치함을 알 수 있다 (Abdullah and Walter, 1987; 松井 등, 1993; Gary, 1992; Semmens and Staples, 1986; 鈴木 등, 1995).

Fig. 12는 A_{260}/DOC 비를 나타낸 것으로서 Fraction II에서 높게 나타났으며, 이것은 마찬가지로 THMs의 생성에 관여하는 용존유기물이 Fraction II에 많이 존재하고 있음을 의미한다고 본다.

상기에서와 같이 임상활성탄을 이용한 THMs의 전구물질의 제거를 위해서는 용존유기물 분자량 10,000 이하의 범위에 속하는 유기물을 흡착처리 할 수 있는 활성탄을 선정하는 것이 바람직하다.

이상의 결과에서 동북호 원수의 경우 수중의 용존유기물을 제거하기 위해서는 고분자 용존유기물을 응집처리하여 제거하고, 저분자 용존유기물은 활성탄 처리를 하는 정수처리공정이 바람직할 것으로 생각된다.

4. 결 론

동북호 원수를 대상으로 응집제인 액체황산알루미늄(LAS)과 폴리염화알루미늄(Poly AC)으로 응집처리한 후, 또는 활성탄으로 처리한 후의 GPC에 의한 용존유기물의 분자량 분포와 DOC제거율을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 동북호 원수의 용존유기물의 대부분은 겉보기 분자량 3,000~10,000사이에서 존재하였다.
- 2) 응집처리수의 DOC 제거율은 겉보기분자량 10,

000 이상에서 높고, 3,000 이하에서 낮게 나타났다.

3) 분말 활성탄 처리수의 DOC 제거율은 모든 Fraction에서 높게 나타났으며, 임상활성탄 처리수는 3,000이하 저분자량쪽이 높았다.

4) 응집처리수에 남아있는 용존유기물의 대부분의 THMs 생성능이 있었고, 활성탄처리수는 중간분자량(10,000~3,000)에서 높게 나타나고 있음을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 1996년도 조선대학교 학술연구비 지원 및 우수연구센터 기자재 활용에 의해 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

龜井翼, 丹保憲仁, 大迫尙司, 1994, 三成分並列反應モデルによる全有機鹽素化合物, トリハロメタン生成豫測, 水道協會雜誌, 63(8), 21~31

龜井翼, 丹保憲仁, 1979, 水質のマトリックス的評價のためのゲルクロマトグラフィ-水道協會雜誌, 519號(12), 24~41.

丹保憲仁, 堤行彦, 1982, トリハロメタン生成能に關する研究(1), 水道協會雜誌, 51(7), 21~27.

배병욱정의석, 김유리, 한범수, 1996, 침출수 유기물의 분자량 분포특성 및 휴믹물질 함량, 대한환경공학회지, 18(9), 1073~1080.

松井佳彦, 龜井翼, 丹保憲仁, 谷口和彦, 1993, フミン質の成分分類と活性炭吸着, 水環境學會誌, 16(7), 497~506.

여창훈, 1995, 낙동강 원수를 이용한 semi-pilot plant 정수처리실험에서 전오존의 영향에 관한 연구, 부산대학교 석사논문.

鈴木基之, 王建中, 藤井隆夫, 迫田章義, 1995, 上水の生物活性炭處理におけるトリハロメタン前驅物質の舉動, 水環境學會誌, 13(5), 405~411.

윤재용, 조순행, 조영아, 최영수, 박철휘, 유희찬, 1996, Gel permeation chromatography를 이용한 수도권 매립지 침출수 처리공정의 유기물 분자량 분포 특성 조사, 대한환경공학회지, 18(11), 1371~1382.

이영식, 손진언, 1995, 임상활성탄에 의한 페놀과 p-니트로페놀 이성분계의 흡착분리, 대한환경공학회지, 17(11), 1153~1160.

정오진, 1995, 환경화학, 자유아카데미, 111pp

佐藤敦久, 1992, 水處理(新しい展開), 技報堂出版, 125p.

浦野平平, 渡部茂樹, 岩手葉子, 藤江幸一, 1991, 有機ハロゲン前驅物質の分子量と粒相活性炭の固定床吸着, 水質汚濁研究, 14(7), 451~459.

Abdullah, M. E. and Walter, J. W. Jr, 1987, Correlation of humic trihalomethane formation potential and adsorption behavior to mole

Collins, M. R., Gray, L. A. and Cornells, S., 1986, Molecular weight distribution, carboxyl acidity and humic substance, content of aquatic organic matt-

- er; implications for removal during water treatment, *Environ. Technol.*, 20(10)1028~1032.
- Davis, J. A and Gloor, R., 1981, Adsorption of dissolved organics in lake water by aluminum oxide. Effect of molecular weight, *Environ. Sci. Technol.*, 15(10), 1223~1229.
- Gloor, R., Leidner, H., Wuhrmann, K. and Fleischmann, T., 1981, Exclusion chromatography with carbon detection. A tool for further characterization of dissolved organic carbon. *Wat. Res.*, 15, 457~462.
- Grasso, D. and Weber, W. J., 1988, Ozone-Induced particle destabilization, *J. AWWA*, 8, 73~81.
- Gray, L. A., Michael, R. C., James, K. and Paul, H. K., 1987, Comparing gel chromatography and ultrafiltration for the molecular weight characterization of aquatic organic matter, *J. AWWA*, 1, 43~49.
- Millot, N., Grant, C., Wicker, A., Faup, G. M. and Navarro, A., 1987, Application of GPC processing system to landfill leachates, *Wat. Res.*, 21(6), 709~715.
- Schneider, J. K., Gloor, R., Giger, W and Schwarzenbach, R. P., 1984, Analytical fractionation of dissolved organic matter in water using on-line carbon detection, *Wat. Res.*, 18(12), 1515~1522.
- Schnoor, J. L., Nitzschke, J. L., Lucas, R. D., 1979, Trihalomethane yields as function of precursor molecular weight, *Environ. Sci. Technol.*, 13(9), 1134~1138.
- Semmens, M. J. and Staples, A. B., 1986, The nature of organics removal during treatment of the Mississippi river water, *J. AWWA*, 79, 76~81.
- Takeuchi, Y., Suzuki, Y., Koizumi, A. and Soeda, N., 1991, Removal of trihalomethane precursors from river and lake water by activated carbon adsorption, *Wat. Sci. Tech.*, 23, 1687~1694.