

## 금강 수계 자연유기물 특성 분석

유순주<sup>†</sup> · 김창수 · 하성룡\* · 황종연 · 채민희

금강물환경연구소

\*충북대학교 공과대학 도시공학과

Analysis of Natural Organic Matter (NOM) Characteristics  
in the Geum RiverSoon-Ju Yu<sup>†</sup> · Chang-Soo Kim · Sung-Ryong Ha\* · Jong-Yeon Hwang · Min-Hee Chae

Geum River Water Quality Research Lab., NIER

\*Department of Urban Engineering, Chungbuk National University

(Received 28 July 2004, Accepted 18 January 2005)

## Abstract

Natural organic matter(NOM) is defined as the complex matrix of organic material and abundant in natural waters. It affects the performance of unit operations for water purification. Several kinds of analytical indicators such as DOC, specific ultraviolet absorbance(SUVA), apparent molecular weight (AMW), fractionation and high performance size exclusive chromatography(HPSEC) have been used to understand characteristics and variations of NOM. This study aims to evaluate the characteristics of NOM in the Geum River system comprising with stream flows and reservoirs. It was identified that SUVA denoting the portion of humic substance in water ranged within 1.60~3.36. Using resin adsorbents, dissolved organic carbon(DOC) was fractionated into three classes: hydrophobic bases(HOB), hydrophobic acids(HOA) and hydrophilic substances(HI). HI dominates in all samples, collectively accounting for more than 62% of the DOC. HOA was the second dominated fraction and it varied considerably but accounted for about 30% of the DOC. The distribution of high molecular weight(HMW) measured by HPSEC being used to determine the molecular weight distribution of aquatic humic substances was 40.1% and 38.7% in reservoir and stream flow, respectively. The distribution of low molecular weight(LMW) in stream flow was 13.2% higher than that in reservoir. And apparent molecular weight less than 1KDa, which include the molecular weight of hydrophilic organic matter, occupied with 69.2% and 68.2% in stream flow and reservoir, respectively. While the molecular weight of 1 to 100 KDa including humic substances ranged with 18.6% and 21.6% in stream flow and reservoir, respectively. Seasonal variation of refractory dissolved organic carbon was similar to that of SUVA.

**keywords** : Natural organic matter(NOM), Specific ultraviolet absorbance(SUVA), Apparent molecular weight, High performance size exclusive chromatography(HPSEC), Refractory dissolved organic carbon, Biodegradable dissolved organic carbon

## 1. 서론

금강수계에는 우리나라 댐 저수지 중 규모면에서 상위 5 위권에 속하고 있는 용담댐과 대청댐이 위치하고 있으며 이들 댐 저수지는 금강 상류에 위치하여 발전 및 상수원으로 사용되고 있는 동시에 금강하류 하천의 유지용수의 공급을 하고 있는 다목적 댐이다. 이들 인공 댐들은 수문 방류와 같은 조건이 인위적으로 조절되기 때문에 댐 운영에 따라 댐 하류 하천의 유량 및 수질에 영향을 미친다. 특히 금강수계 상류의 오염물질 배출특성을 살펴보면 임야 및 농지에 의한 비점오염물질의 발생부하가 크고 우리나라 기후특성상 여름철 우기에 비점오염원에 의한 유기물이 년

약 70% 이상의 부하로 유출되고 있으며(금강물환경연구소, 2003), 호소 및 하천으로 유입된 유기물은 시기와 토지 이용에 따라 다른 특성을 갖게 된다. 그러나 이들 유기물은 피산화성물질을 대상으로 하는 생물학적산소요구량(BOD), 화학적산소요구량(COD)과 총유기탄소(TOC)와 같은 오염도를 판단하는 방법에 의해서 분석되고 있으며 이들 방법은 유기물의 특성과 발생원을 파악하는데 한계가 있다. 그러나 수 환경 어디에나 존재하는 자연적이고 인위적 분해산물인 자연유기물질(natural organic matter, NOM)은 다양한 이화학적 특성분석에 따라 발생기원 및 특성을 이해할 수 있으며 특히 상수처리 효율성과 소독부산물의 생성에 영향을 미치고 있기(Owen et al., 1995) 때문에 최근에는 정수처리 시 소독부산물의 생성을 저감하고 생성을 예측하고자 소독부산물의 전구물질로서 자연유기물을 대상으로 다양한 분석법이 적용되어 국내에서도 분자량 분리 및 resin fractio-

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
ysu1221@me.go.kr

nation 등을 이용하여 보고(배, 1997; 한 등, 1999)된 바 있다.

그러나 우리나라와 같이 계절과 유역에 따라 유량의 변동이 심한 계절적, 지형적 요인과 댐 운영에 따른 자연유기물의 특성 변화 등에 관한 연구는 많지 않으며 특히 우리나라 자연유기물의 특성이 외국과 비교할 때 소수성 유기물보다는 친수성유기물의 분포가 많으며(염 등, 2003; 이 등, 1999), 또한 유기물 특성에 따른 소독부산물 생성능력에도 차이가 있는 것으로 알려져 있어(염 등, 2002) 자연유기물의 계절적 요인과 호소 및 하천에 따른 특성분포에 대한 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 금강수계에서 주요 상수원으로 사용되고 있는 용담호와 대청호의 호소수 및 하천수에 대하여 자연유기물 분석과 관련되는 소수성산, 염기 등 화학적 특성, 분자량 분획, 고효율 분자크기, 생분해도 평가방법을 이용하여 자연유기물의 발생원 및 특성을 규명하여 금강수계 상수원의 수질관리에 필요한 자연유기물 정보 및 관리방안을 모색하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 조사지점

금강수계 호소와 하천에서 주요 상수원 취수탑이 위치한 용담댐, 대청댐 2개 지점, 하천의 경우 대청댐 상류 옥천지점, 금강하류 공주와 부여지점을 대상으로 Table 1과 같이 하였다. 조사 시기는 2003년 3월부터 11월에 걸쳐 7회 시료를 채취하였다.

**Table 1.** Location of sampling site

	Site	Location
Res.	Yongdam	Wolgyeri, Yongdam-myeon, jinan-gun, Cheonbuk
	Daechong-1	Chudong, Dong-gu, Daejeon-si
	Daechong-2	Munyi-myeon, Cheongju-si, Chungbuk
R	Okcheon	Chilbang-ri, Eewon-myeon, Okcheon-gun, Chungbuk
	Gongju	Geumsung-dong, Gongju-si, Chungnam (Geumgang bridge)
	Buyeo	Weri, Gyuam-myeon, Buyeo-gun, Chungnam (Backjae bridge)

※ Res. : Reservoir, R : river

### 2.2. 분석방법

#### 2.2.1. 수리·수문 현황조사

용담댐과 대청댐의 수리·수문 조사는 한국수자원공사 수자원관리종합정보시스템 에서 제공하는 댐 수문 자료를 토대로 2003년 강우량과 댐 유입량을 조사하였다.

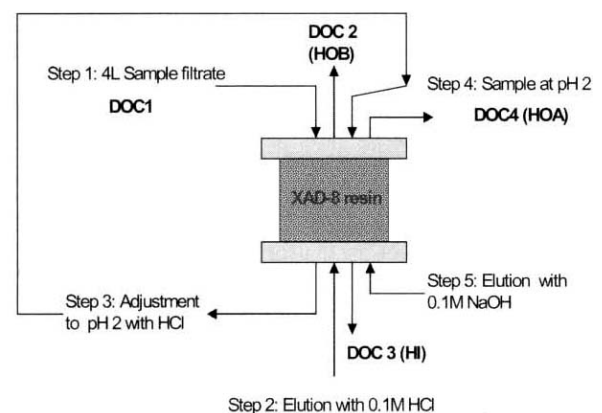
#### 2.2.2. 수질 분석

본 연구에서 DOC는 시료를 0.45  $\mu\text{m}$  membrane여과 후 TOC분석기(Apollo 9000)로 측정하였고 UV<sub>254</sub>흡광도는 UV-Vis 흡광광도계(Varian 300)를 사용하여 254 nm에서 측정하였다. SUVA(specific ultraviolet absorbance)는 DOC

에 대한 UV<sub>254</sub>흡광도 비로서 단위는 (m<sup>-1</sup>)/DOC (mg/L)로 하였다.

### 2.2.3. NOM 특성 분석

NOM 특성분석은 XAD-8 resin(supelite XAD-8, Supelco 사)을 이용하여 조사하였다. XAD-8은 입자크기가 20~40 mesh이고 acrylic ester로 되어 있으며 분자량 150 KDa까지 적용할 수 있다. Resin세척은 증류수와 0.1 M 수산화나트륨용액으로 DOC 농도가 증류수 농도이하로 떨어질 때까지 세척하여 사용하였다. 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 소수성염기(hydrophobic base, HOB), 소수성산 (hydrophobic acid, HOA), 친수성(hydrophilic, HI)으로 분리하였으며 각 특성별 TOC농도는 시료의 농축배수에 따라 계산하였다.



**Fig. 1.** Fractionation method of NOM.

### 2.2.4. 분자량 분획(Molecular weight cutoff) 및 분자크기 분리(High performance size exclusive chromatography, HPSEC) 분포 조사

분자량 분획은 ultrafiltration cell(Amicon)로 MWCO 1 K Da(YM1), 100 K(YM100) membrane을 사용한 후 TOC를 분석하여 각 비율분포를 조사하였다. 또한 시료를 0.45  $\mu\text{m}$  membrane 여과 후 resin XAD-8에 의해 분리된 유기물 중 소수성 산에 대하여 Table 2의 조건으로 HPLC를 사용하여 소수성 산에 대하여 분자크기 분포를 조사하였다.

**Table 2.** Analytical condition of HPSEC

- HPLC (Waters 996)
- Col. : TSKgelG3000SW (7.5 mm × 30 cm)
- Mobile phase : sodium acetate buffer (pH 7)
- Flow : 1 mL/min
- Detector : UV254, vol : 30  $\mu\text{L}$

### 2.2.5. 생분해도 평가

호소 및 하천의 유기물중 난분해성 유기탄소(Refractory-DOC)와 생분해성 유기탄소(Biodegradable-DOC)의 비율을 조사하기 위하여 모든 시료를 GF/C 여과지로 여과 후 1 L 유리병에 시료를 채우고 20°C에서 보관하여 각 일별 100 일까지 DOC 농도와 UV<sub>254</sub>를 측정 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 금강 상류 댐 수문현황

금강하류 수질은 자연적인 기상조건뿐만 아니라 금강 상류 용담댐 및 대청댐 방류에 따라 하류 하천의 유량과 수질에 영향을 미친다. Fig. 2와 같이 2003년도 용담댐과 대청댐의 방류량과 강우량을 보면 두 댐의 강우량은 큰 차이를 보이지 않으나 방류량은 용담댐의 경우 100 CMS 이상의 방류가 7월 초부터 시작되지만 대청댐은 용담댐 이후 대청댐 유입 전까지 유역면적이 큰 하천들의 영향으로 유입량이 증가하면서 방류량은 4월 말부터 100 CMS 이상의 방류가 시작되어 5월 말부터는 200 CMS로 증가하였으며 6월 이후 지속적인 강우로 유입량과 방류량 변동 폭이 커 수위 변화가 심하였고 여수로를 통한 상층 방류뿐만 아니라 중층 방류량도 증가하였다.

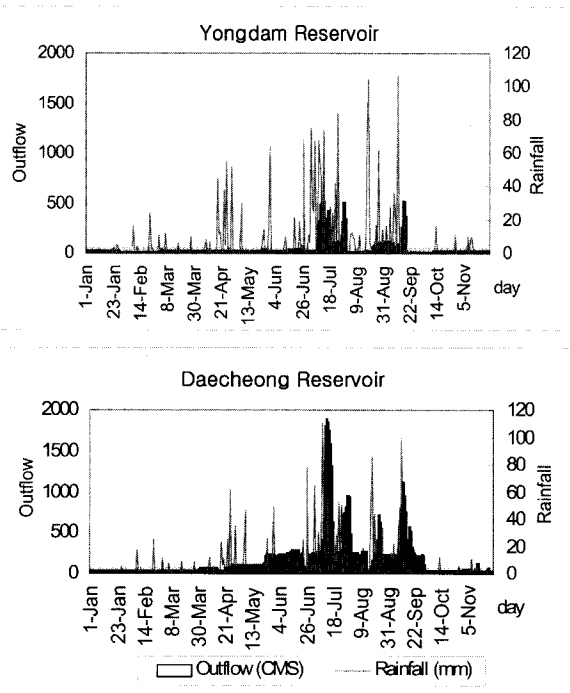


Fig. 2. Outflow and rainfall of Yongdam reservoir and Daecheong reservoir.

#### 3.2. NOM의 기원 및 특성

##### 3.2.1. 발생 기원

자연유기물의 기원을 외부기원과 내부 생성유기물로 나누어 구분하면 외부유입 유기물은 육상 및 수중 생물을 포함한 생물체 유기물과 토양유기물이 포함되고 내부생산 유기물은 식물성플랑크톤, 수초에서 배출, 동물성 플랑크톤 증식에 따른 배설 및 퇴적물 용출 등에 의한 것이다. 이 가운데 외부유입 유기물 지표로 사용되어지는 것이 SUVA와 UV<sub>254</sub>이다. 일반적으로 SUVA는 2(non-humic)~6(humic)의 범위를 가지며 유기물 중 방향족 화합물의 양과 상당히 밀접한 관계를 갖는다(Chin et al., 1994). 즉 방향족 화합물의 구성비가 높고 분자량 큰 소수성 성분의 경우

높은 SUVA 값을 나타내며 humic acid > fulvic acid > transhydrophilic acid 순으로 나타난다. 반면 친수성 물질의 경우 방향족 화합물의 구성비가 낮고 분자량이 작아 낮은 SUVA 값을 나타낸다. 물에서 SUVA 값은 소수성 성분의 양에 크게 의존하게 되므로 humic substances의 함유량, 특히 휴믹산을 나타내는데 지표로 사용되며 이들 물질의 유입은 외부유입으로 설명될 수 있다.

Fig. 3은 대상지점의 월 SUVA 변화로, 4월에는 2 이하로 감소하다가 6월에 3.36으로 증가 후 7월에 감소하면서 다시 8월부터 증가하여 11월까지 3.0으로 지속되고 있다. 6월 최대값은 초기 집중 강우의 영향으로 지면에 축적되어 있는 물질이 이 시기에 수계로 유출되기 때문이며 7월 이후 강우의 영향으로 계속 증가하는 것으로 생각된다. 금강 수계뿐만 아니라 우리나라의 수질특성상 SUVA는 강우의 영향으로 변화는 있으나 일반적으로 3 정도 값을 나타내고 있으며 소수성 유기물의 분포보다는 친수성, 저분자물질 등과 같은 물질의 분포가 크다는 다수의 연구보고(유 등, 2003)와 일치하였으며, 이 같은 특성은 염소소독 부산물중 트리할로메탄의 생성보다는 할로아세트산의 생성에 유리한 조건을 갖는다(염 등, 2003). 또한 시기에 따라, 즉 갈수기 후 강우에 의한 일시적 증가와 함께 여름에는 집중강우 후 3 이상의 값으로 지속되는 것으로 나타나고 있어 이 시기에 외부 유입의 영향이 큰 것을 알 수 있다.

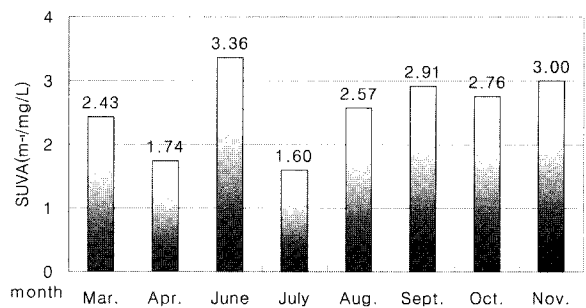


Fig. 3. Monthly variation of SUVA.

##### 3.2.2. 특성별 NOM 분리

용존유기물은 물에 대한 친화도에 따라 친수성과 소수성으로 구분할 수 있다. 자연유기물의 특성은 수계에서 서식하는 식물의 형태나 조류의 종류에 따라 다르게 나타나며 호소와 하천의 자연유기물의 특성이 다르게 나타난다. 그러나 우리 나라와 같이 여름철 집중강우가 매년 발생하고 하천 주변 공사가 자주 발생되는 경우에는 그 지점의 생태계의 고유한 특성을 장기간 유지하기 어렵기 때문에 자연유기물의 특성도 변화할 것으로 생각된다. 일반적으로 XAD-8과 XAD-4를 이용하여 소수성 산, 소수성 염기, 친수성 산, 친수성 염기 등을 분리할 수 있으며 이온교환수지를 사용하기도 한다. 본 연구에서는 XAD-8만을 이용하여 소수성산(hydrophobic acid), 소수성염기(hydrophobic base), 친수성(hydrophilic) 유기물 세 가지로 나누어 분리하였으며 호소와 하천에서 이들 세 가지 물질에 대한 분포는 Table 3과 같다. 호소는 친수성 유기물이 65.1%, 하천은 64.2%로

나타났으며 소수성 유기물 분포에서 소수성 염기가 호소와 하천이 비슷한 평균 2.4%, 범위는 1.5~3.3%이고, 소수성 산이 호소 31.3%, 하천 33.3%로 오히려 하천이 높게 나타나고 있었다. 하천에서 소수성 산이 높은 이유는 공주와 부여에서 약간 높은 것이 그 원인이라 할 수 있지만 그 차이가 크지 않기 때문에 하천과 호소의 특성으로 보기는 어렵다. 이 같은 결과는 금강수계를 대상으로 한 연구 결과(이 등, 1999; 채 등, 2000)와 비교할 때 유사하지만 2003년의 경우 강우가 예년과 다르게 많았던 풍수해로서 강우에 의한 오염원으로부터 유출 속도가 빠르게 작용하여 평균적인 범위에서는 하천과 호소의 뚜렷한 차이가 나타나지 않은 것은 사료되었다.

**Table 3.** Characterization distribution of NOM for sampling sites

Site	Hydrophilic (%)	Hydrophobic(%)	
		acids	base
Yongdam	66.0	30.7	3.3
Daecheong-1	65.5	32.3	2.1
Daecheong-2	67.4	31.1	1.5
Average	65.1	31.3	2.4
Ocheon	66.6	30.5	2.8
Gongju	62.7	35.5	1.7
Buyoe	63.4	33.2	3.2
Average	64.2	33.3	2.4

지점별 월 변화를 살펴보면 용담댐에서는 친수성 유기물에 월 변화는 60% 정도로 크지 않지만 10월에 감소하고 있으며 소수성물질은 9월부터 증가하여 40%정도를 차지하고 있다. 대청 1지점은 6월에 친수성 유기물이 증가하여 감소되어 가고 있으며 소수성유기물은 9월에 40%정도로 최대였다. 대청 2지점도 유사한 경향을 보이고 있다. 하천 지점에서는 친수성의 유기물 분포가 고르고 호소와 비슷한 분포를 보이고 있다. 대부분 모든 지점에서 여름 집중 강우 후 소수성 유기물의 분포는 증가하는 것으로 나타났다.

3.2.3. 분자량 및 분자크기별 유기물 분포

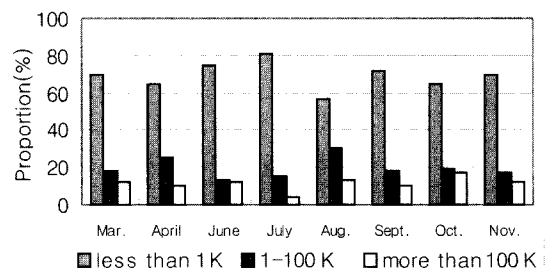
분자량 분획은 막을 이용한 방법으로 membrane 크기가 일정한 미세한 구멍을 가진 막 크기에 따라 통과할 수 있는 유기물의 분자량을 결정하는 방법으로 본 연구에서는 분자량 분포를 비교하기 위해 적용하였다. 금강유역의 하천 및 호소에서 유기물 분자량 범위는 1 KDa과 100 KDa에 대하여 YM1와 YM100을 사용하여 분리 후 DOC농도를 측정된 결과 Table 4와 같으며 여기서 비율은 총 DOC 농도에 대한 막 분리후 DOC농도이다. 1~100 KDa 범위 유기물 분포는 호소가 21.5%, 하천이 18.6%로 호소가 약간 높았고 금강 상류의 용담댐에서 가장 높은 23.7%의 분포였으며 이는 금강상류지점으로 주로 산지나 임야의 비율이 높기 때문에 이들 유역특성이 반영된 결과라고 생각된다. 100 KDa 이상의 범위는 육천이 가장 높은 16.4%로 가장 높게 나타났다. 분자량 분획을 통한 유기물의 분포를 월별

로 살펴보면 Fig. 4에서와 같이 1 KDa의 물질은 대부분 60%내외였으나 7월에 80% 이상으로 증가하다가 8월에 감소하면서 조금씩 증가하였다. 1~100 KDa의 범위는 4월에 25.1%로 증가하다가 다시 감소한 후 8월에는 모든 지점에서 20%를 넘어 평균 30.7%로 증가하여 서서히 감소하고 있어 8월 집중 강우 후 토양 부식산 등과 같은 비교적 분자량이 큰 humic acid의 비율이 증가하기 때문으로 생각된다. 그리고 전체 비율로 볼 때 1 KDa이하 유기물에는 친수성 유기물뿐만 아니라 Aiken 등(1985)은 fulvic acid가 0.2~1 KDa 범위의 분자량을 갖는 것으로 보고하고 있어 fulvic acid와 같이 분자량이 비교적 작은 소수성 유기물도 이범위에 포함된 것으로 판단되었다.

**Table 4.** Apparent molecular weight distribution in sampling sites

Site	less than 1 K	1~100 K	more than 100 K
Res. Yongdam	66.9	23.7	9.4
Daecheong-1	68.5	19.8	11.7
Daecheong-2	69.2	20.8	10.0
Average	68.2	21.5	10.3
Ocheon	67.9	15.7	16.4
Gongju	69.8	21.3	8.9
Buyoe	70.0	18.0	12.1
Average	69.2	18.6	12.2

\* Res. : Reservoir, R : river



**Fig. 4.** Monthly variation of apparent molecular weight distribution.

한편, 소수성 유기물로 주요 유기성분인 humus는 거대분자(macromolecular) 구조 때문에 이를 정량 분석은 매우 복잡하지만 HPSEC(high pressure size exclusion)는 휴믹물질의 molecular weight distribution 을 결정하는데 널리 이용되는 방법으로 휴믹 분자의 크기에 따라 가장 먼저 큰 입자가 유출되고 작은 입자는 나중에 유출되는(Potsckha, 1993) 방법이다. 그러나 휴믹물질과 HPSEC 겔(gel)과의 정전기 반발과 흡착 방해 등이 HPSEC의 정확도에 영향을 주는 단점이 있으나 분자크기 분포의 수(Mn)과 평균분자량(Mw)을 측정할 수 있으며 자연수 중 휴믹물질의 분리를 할 필요가 없다는 것이 장점에 속한다. Humus는 어떤 분자 fraction을 가지는지는 알려지지 않았지만 그 성분 분자

크기가 다르다는 것이 밝혀졌으며 이들 연구는 대부분 수질변화를 모니터링하기 위해 이용되고 있다. Volks 등(2000)은 TSK 컬럼을 이용하여 수중 humus에 존재하는 7개 다른 fraction을 분리하였으며 Matilainen 등(2002)은 TSK gel G3000 SW를 이용하여 5개의 Peak를 분리하여 피크 I, II는 고분자량, 피크 III, IV는 중간(IMW), 피크 V는 낮은 분자량으로 각 fraction에 대하여 분자크기는 결정하지 않고 분자크기별 비율을 조사하였다. 또한 정수처리 공정에서 유기물 제거능 조사에 사용되는데 일반적으로 고분자량의 제거와 중간 분자량에서는 부분적 제거를 보이지만 저분자량의 제거는 어려운 것으로 보고하였다. 이들 저분자량 대부분은 fulvic acid(Heyes et al., 1989)로 humic acid보다 수용성이고 평균 분자량도 작고 높게 하전 되어 있다. 이 방법은 수중 NOM의 형태에 대한 유용한 정보를 제공하며 빠르고 상대적으로 간편한 방법이다. 그러나 본 조사에서 원수 시료를 그대로 분석할 경우 검출 농도가 매우 낮았기 때문에 XAD-8 레진을 이용하여 분리 농축된 hydrophobic acid를 대상으로 측정하였다. 피크는 모두 5개가 검출되었으나 peak I은 peak II와 분리가 잘 되지 않아서 이들 값을 합하여 4개의 피크로 구분하였다(Fig. 5).

2003년은 호소와 하천의 평균적인 수질 구분이 뚜렷하지 않기 때문에 월별로 전체 분포 비를 Fig. 6과 같이 정리하였다. 고분자 비율이 8월까지는 40% 이상이다가 10월에 들어서 20%정도로 감소되었다. peak III의 중간분자량 분포는 30%정도로 월별 변화가 크지 않았으며 저분자량 peak IV와 V는 모두 증가하는 것으로 나타나고 있다. Table 5는 지점별 소수산 산의 각 비율 분포를 정리한 결과로 호소는 고분자 피크 I, II에서 하천의 38.7%보다 약간 높은

**Table 5.** Molecular size distribution of humus by HPSEC

	Site	I, II	III	IV	V
Res.	Yongdam	43.9	31.6	13.9	10.7
	Daecheong-1	37.4	34.0	16.2	12.4
	Daecheong-2	39.0	34.2	15.5	11.3
	Average	40.1	33.3	15.2	11.5
	Ocheon	37.9	34.4	15.2	12.6
R	Gongju	39.3	31.5	17.5	13.2
	Buyoe	38.9	32.1	15.2	13.8
	Average	38.7	32.7	16.0	13.2

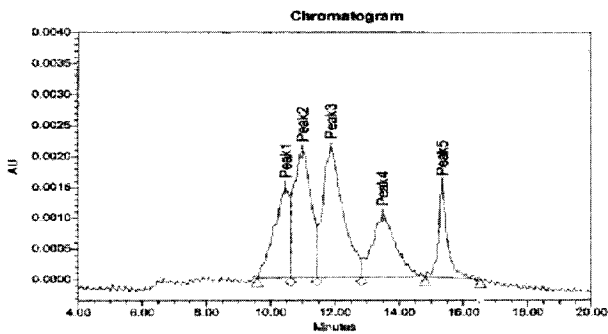
※ Res. : Reservoir, R : river

40.1%이고 용담이 가장 높은 값인 43.9%였다. 이는 용담 담역이 다른 지점에 비하여 가장 상류이고 입야 등이 많기 때문에 분자량이 fulvic acid에 비해 큰 humic acid가 더 많이 포함된 것으로 생각된다. Peak III과 IV는 하천과 호소에서 크게 차이가 나지 않지만 저분자량 피크 V는 하천에서 높게 나타나며 비교적 생활 오·폐수의 영향이 많은 공주와 부여에서 높게 나타나고 있어 humus의 특성도 환경적 요인 즉 계절적 요인과 유역의 특성에 따라 다르게 분포함을 알 수 있다. 즉 집중강우후에는 비교적 분자량이 큰 소수성유기물이 증가하고 금강상류보다 하류로 갈수록 도시하수의 유입으로 소수성 유기물중 비교적 저분자량 소수성유기물의 비율이 상대적으로 증가하는 것으로 나타났다.

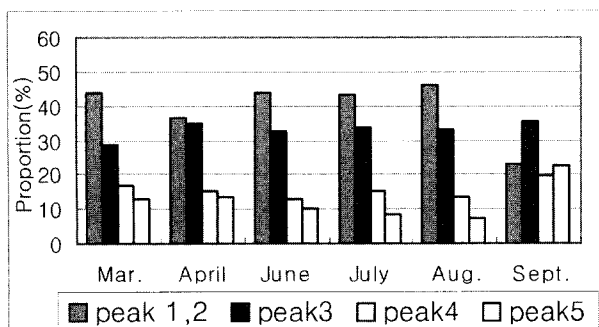
3.2.4. 생분해도 평가

생분해 유기물(biodegradable organic matter: BOM)은 미생물의 에너지와 탄소원으로 이용되기 때문에 박테리아 재성장과 대장균의 발생을 증진시킬 뿐 아니라 소독제 요구량을 증가시키고 부산물 형성에 영향을 미친다. 따라서 수중 유기물의 생분해율을 평가하기 위해 다양한 생물학적 시험이 개발되었는데(Huck, 1990) 이들 평가는 두 가지 개념으로 하나는 assimilable organic carbon(AOC)으로 수중 영양물질의 양에 대한 접종 박테리아의 성장을 측정하는 것이고 두번째는 biodegradable dissolved organic carbon(BDOC)으로 종속영양 미생물에 의해 무기화되고 동화되는 용존 유기탄소를 측정하는 것이다. 이 개념을 토대로 음용수의 공정에서 소독공정이 없는 경우는 AOC 농도는 10~20 µg acetate-C/L 이하, BDOC 200 µg/L 이하 일 경우 생물학적으로 안정하다고 한다(Lechevallier et al., 1991). BDOC 측정은 일반적으로 종속영양 미생물이 존재하는 물질을 접종하여 측정된다. 생물학적으로 활성모래를 접종하고 호기 조건에서 10일간 배양하여 DOC 농도를 측정하는데 최소 DOC 농도가 될 때까지 측정 하였으며 BDOC 농도는 초기 DOC와 최소 DOC 농도 차이로 구하며 생물학적 분해 후 남아 있는 DOC를 난분해성 DOC (Refractory DOC, RDOC)로 정의될 수 있다(Volk et al., 2000).

본 연구에서는 시료를 접종하지 않고 호기조건에서 25℃에서 100일까지 배양하였으며 일 별로 DOC를 측정하였다. 지점마다 분해속도의 차이는 있으나 5~30일내에 진행되고 초기단계에는 빠르게 분해되고 시간이 지남에 따라 느리게



**Fig. 5.** Typical chromatogram by HPSEC.



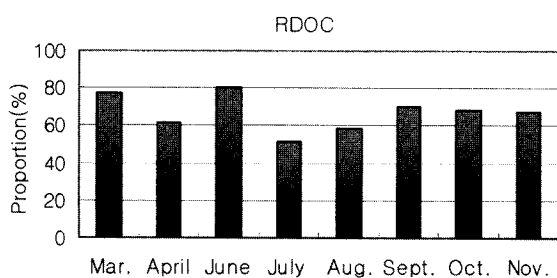
**Fig. 6.** Monthly distribution of peaks.

**Table 6.** Refractory and biodegradable dissolved organic carbon in sampling site

	Site	RDOC(%)	BDOC(%)
Res.	Yongdam	67.7	32.3
	Daecheong-1	68.9	31.1
	Daecheong-2	68.0	32.0
	Average	68.2	31.8
R	Ocheon	69.6	30.4
	Gongju	69.5	30.5
	Buyoe	62.6	37.4
	Average	67.9	32.1

분해되었다. 따라서 10~30일 후 농도변화가 거의 없는 시기의 DOC 농도를 난분해성 DOC로 간주하고 초기 DOC에서 뺀 값을 BDOC로 계산하였다. Table 6에서 보면 호소는 난분해 비율이 약간 높은 68.2%, 하천이 67.9%로 거의 차이가 없었으나 금강 하류지점 부여에서 62.6%로 가장 낮은 값을 나타내고 있다. 이는 금강하류 하천으로 갈수록 상류 호소의 수질영향에 비하여 금강 유입지천 등으로부터 도시 생활하수의 유입으로 인하여 분해성 유기물의 비율이 증가하였기 때문으로 판단되었다. 그러나 풍수해였던 2003년은 대청댐에서 8월 이후부터 발전방류 외에 여수로 방류를 실시하여 증충 방류로 인한 대청댐 지점의 증충에 형성된 탁수가 방류되어 하류 하천의 탁수 영향을 주었다. 이 탁수에는 현탁성 토사 입자뿐만 아니라 토양부식산등 난분해성 유기물을 함유하여 하류하천에 영향을 주어 오히려 예년에 비하여 생분해성 유기물의 비는 감소한 것으로 추정되었다. 하지만 생분해성 유기물의 분포가 평균 약 30%이상으로 국내의 결과와 유사한 범위를 보이고 있으며 수중 용존 유기물의 농도가 증가할수록 생분해가능한 유기물의 비율이 증가한다고 하였다(노 등, 2003).

전체 계절별 분포를 살펴보면 Fig. 7과 같이 RDOC가 6월까지 80%로 증가한 후 강우가 많아지는 7월부터 상대적으로 감소하다가 8월부터 11월까지 약간씩 증가하고 있었다. 봄 강우까지는 비분해성의 물질이 증가하다가 강우량과 강우빈도가 높아지는 여름에 감소한 후 다시 증가하는 것을 알 수 있다. 계절별 RDOC 비율의 변화는 SUVA의 계절적 변화와도 유사하였으며 자연유기물의 특성은 계절적 요인에 따라 변화하는 것으로 나타났다. 이와 같이 금

**Fig. 7.** Monthly variation of refractory dissolved organic matter.

※ Res. : Reservoir, R : river

강수계에서 호소 및 하천의 자연유기물의 발생 특성을 살펴보면 지역적, 계절적 요인에 따라 다른 분포를 보이는 것으로 나타났다. 또한 국내 지표수의 특성상 여러 연구결과와 비교할 때 친수성 유기물의 비율의 소수성 유기물보다 큰 것으로 나타났는데 이 같은 이유는 비교적 생활하수 등과 같은 인위적 배출원으로부터 유출이 빠르기 때문에 강우가 많은 경우에는 하천과 호소의 큰 차이가 나지 않는 것으로 사료된다. 그리고 집중강우의 영향이 없는 평수기에 금강 유역 상류는 비교적 유기물이 토양 부식산 등과 같은 비교적 자연환경에서 생성된 유기물이 많이 차지하는 반면에 하류로 갈수록 생활하수 등의 영향이 크게 작용하여 생분해면에서 다른 결과를 보이지만 집중 강우시에 그 같은 차이는 보이지 않는 것으로 나타났다.

#### 4. 결론

금강수계 주요 상수원으로 사용되고 있는 지점을 대상으로 자연유기물의 기원, 분자량분포, 휴머스의 분자크기 분포, 화학적 특성과 생분해도와 관련된 다양한 이화학적 분석방법을 통하여 금강수계 자연유기물의 변화 및 특성 변화를 조사한 결과 다음과 같았다.

1. 전체 조사지점에서의 월 평균 SUVA는 4월에 2이하로 감소하다가 6월에 3.4로 증가 후 7월에 감소하면서 다시 8월부터 증가하여 11월까지 3.0으로 지속되어 겨울철에 소수성 유기물과 같은 난분해성 유기물의 비율이 증가하는 것을 알 수 있었다.
2. 금강수계 호소 및 하천에서 친수성 유기물은 호소에서 평균 65.1%, 하천 평균 64.2%로 나타났으며 소수성 염기는 호소와 하천이 비슷한 평균 2.4%이고 소수성 산은 평균 호소 31.3%, 하천 33.3%으로 호소와 하천이 거의 유사한 비율을 나타내었다. 이는 2003년이 강우량이 많았던 풍수해로 호소와 하천의 유형이 크게 다르지 않았기 때문으로 판단되었다.
3. 분자량 분획에 의한 평균적 분자량 분포는 1 KDa 이하 범위가 호소 68.2%, 하천 69.2%이며 1~100 KDa 유기물 분포는 호소가 21.5%, 하천이 18.6%였으며 시기별로는 1~100 KDa의 범위는 4월에 25.1%로 증가하다가 감소한 후 8월에는 모든 지점에서 20%를 넘어 평균 30.7%로 증가하다가 감소하고 있어 유기물의 특성이 계절별로 변화됨을 알 수 있었다.
4. 분자크기 분리(HPSEC)를 통한 humus 평균 분포는 호소에서 휴믹산에 가까운 고분자유기물이 약 40% 정도로 나타났으며 집중 강우후 저분자유기물보다 고분자유기물이 많아지고 있어 이때 토양입자 등의 부식물질 유출이 크게 작용함을 알 수 있었다.
5. 생물학적 분해가능한 유기탄소와 난분해유기물의 비율을 살펴보면 난분해 비율이 호소 평균 68.2%, 하천 평균 67.9%로 거의 차이가 없었다. 계절별 분포는 난분해유기탄소가 6월까지 80%로 증가하다가 강우가 많아지는 7월부터 상대적으로 감소하여 8월부터 11월까지 증가하

여 집중 강우후 유출된 유기물이 난분해성유기물로 잔류하고 있음을 알 수 있었다.

### 참고문헌

- 금강물환경연구소, 초기담수호의 영양상태가 하류 하천 및 호수수질에 미치는 영향(III) (2003).
- 노재순, 손희종, 박홍기, 황영도, 류동춘, 강임석, 주기재, 고도정수공정에서의 BDOM 제거특성 평가, *대한환경공학회지*, **25**(7), pp. 909-919 (2000).
- 배병욱, 상수원내 천연유기물질과 이취미제거를 위한 분말활성탄의 적용, *대한환경공학회지*, **19**(12), pp. 1523-1530 (1997).
- 염철민, 변석중, 조순행, 윤제용, 국내 상수원수의 유기물 특성에 따른 소독부산물생성능, *상하수도학회지*, **17**(1), pp. 72-78, (2003).
- 유순주, 하성룡, 황종연, 김창수, 금강수계에서 소독부산물 생성에 미치는 유기물 특성, *한국물환경학회지*, **19**(6), pp. 707-713 (2003).
- 이순화, 김용환, 이철희, 류창석, 상수원수중의 용존유기물질에 관한 연구, *대한환경공학회추계학회초록집*, pp. 301-302 (1999).
- 채선하, 김충환, 조재원, 금강원수를 대상으로 하는 수처리 공정에서 소독부산물 생성특성 및 제거에 관한 연구, *대한환경공학회지*, **22**(9), pp. 1589-1600 (2000).
- 한승우, 이승룡, 류동춘, 강임석, 전오존처리에 따른 유기물의 특성변화, *대한환경공학회추계학회초록집*, pp. 271-272 (1999).
- Aiken, G. R., Mcknight, D. M. and Wershaw, R. L., *Humic Substances in Soil, Sediment and Water, Geochemistry, Isolation and Characterization*, John and Wily & Sons. inc., pp. 1-12 (1985).
- Chin, Y., Aiken, G. and O'loughlin, E., Molecular Weight, Polydispersity, and Spectroscopic Properties of Aquatic Humic Substances, *Envir. Sci. & Tech.*, **28**, pp. 1853-1858 (1994).
- Edzwald, J. K., *Coagulation Concept for Removal of TOC*. In Proc. AWWA WQTC Conf., San Francisco, CA.(Nov. 6-10) (1994).
- Hayes, M. H. B., MacCathy, P., Malcolm, R. L. and Swift, R. S., The Search for the Structure: Setting Scene. Humic Substances II, *In search of structure*. Chichester, John Wiley & Sons, pp. 4-30 (1989).
- Huck, P. M., Measurement of Biodegradable Organic Matter and Bacterial Growth in Drinking Water, *J. Amer. Water Works Assoc.*, **83**, pp. 69-90 (1990).
- LeChevallier, M. W., Shulz, W. and Lee, R. G., Bacterial Nutrients in Drinking Water, *Appl. Environ. Microbiol.*, **57**, pp. 857-862 (1991).
- Matilainen, A., Lindqvist, N., Korhonen, S. and Tuhkanen, T., Removal of NOM in the Different Stages of the Water Treatment Process, *Environment international*, **36**, pp. 925-932 (2002).
- Owen, D. M., Amy, G., Chowdhury, Z. K., Paode, R., McCoy, G. and Viscosil, K., NOM Characterization and Treatability, *J. AWWA*, **87**, pp. 46-63 (1995).
- Potschka, M., Mechanism of Size-exclusion Chromatography, *J. Chromatogr.*, **648**, pp. 41-69 (1993).
- Volk, C., Bell, K., Ibrahim, E., Verges, D., Amy, G. and Lechevallier, M., Impact of Enhanced and Optimized Coagulation on Removal of Organic Matter and its Biodegradable Fraction in Drinking Water, *Wat. Res.*, **34**(12), pp. 3247-3257 (2000).