

## 낙동강수계 유기물 분포특성과 소독부산물 생성능과의 상관성에 관한 연구

김지혜<sup>1,†</sup> · 김정희<sup>1</sup> · 최일환<sup>1</sup> · 이영주<sup>2</sup> · 이은정<sup>1</sup>

<sup>1</sup>K-water융합연구원 수질연구센터, <sup>2</sup>친환경수처리연구단

### Correlation between Dissolved Organic-Carbon Distribution Characteristics and Disinfection Byproduct Formation Potential in the Nakdong River

Jihye Kim<sup>1,†</sup>, Jeonghee Kim<sup>1</sup>, Il hwan Choi<sup>1</sup>, Yeoungjoo-Lee<sup>2</sup>, and EunJung-Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Water Quality Research Center, K-water Convergence Institute, Daejeon 34350, Korea

<sup>2</sup>Water Works Research Center, K-water Convergence Institute, Daejeon 34045, Korea

Received August 30, 2018/Revised September 15, 2018/Accepted September 18, 2018

Recently, there have been steady increases in the concentration of disinfection byproducts (DBP) in water treatment plants using the Nakdong River as a source. Therefore, a study was carried out investigating the correlation between organic matter and DBP in the Nakdong River water system. There were no significant differences in organic matter concentrations between the main stream and tributaries of the Nakdong River during this study. However, in July and August, the months of heaviest rainfall, humic substances (HS), known to be DBP precursors, increased by over 60% compared with May and June. The origin of organic matter in the Nakdong River was analyzed using an HS-diagram, which generally showed pedogenic fulvic acid (FA) characteristics; this is hypothesized to be the effect of organic material entering with turbid water from upstream. While there was a 26% increase in organic matter in July and August, the DBP trihalomethanes formation potential (THMFP) and haloacetic acid formation potential (HAAFP) increased by 36% and 91%, respectively. Thus, DBP increased at a higher than organic matter during this study. The DBP formation potential per unit organic matter was found to be 0.103 for THMFP and 0.016 for HAAFP.

**Key words:** Organic matter, Disinfection ByProduct Formation Potential (DBPFP), Nakdong River, Humic substances

#### 1. 서 론

최근 급격한 기후변화로 인한 기온 상승, 강우 패턴 변화 등은 하천 내 유기물 및 조류농도의 증가로 이어지고 있다. 특히 하절기 낙동강수계에서 녹조 발생이 빈번해짐에 따라, 이를 수원으로 사용하는 정수장의 소독부산물이 증가하여, 인체에 미칠 수 있는 영향에 대한 우려가 언론 등을 통해 꾸준히 제기되고 있다. 일반적으로 소독 부산물은 자연유기물질(Natural Organic Matter, NOM)

과 정수처리공정에서 사용되는 소독제가 반응하여 발생하는 부산물로, 동일 수계라 할지라도 강우량, 기온, 채수시기 등에 따라 자연유기물질의 토양 또는 수중 기원에 따라 달라질 수 있어 그에 따른 소독부산물별 발생량이 달라질 수 있다.<sup>1,2)</sup> 이 중 정수처리공정 중 염소소독과정에서 가장 많이 생성되는 것으로 알려진 것으로는 THM, HAA이 있으며, 이 물질들은 인체 발암 가능성<sup>3,4)</sup>이 있다고 알려져 있다. 또한 소독부산물 생성의 주요원인으로는 자연유기물 외에도 수온, pH, 염소주입농

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.

도 및 접촉시간도 영향을 줄 수 있다고 알려져 있다.<sup>5,8-11)</sup> 국내 상수원수에서 염소소독부산물 생성능 중 THM 생성능(THMFP)은 전체의 최대 66%, HAA는 42%로, 염소소독으로 인한 부산물의 대부분을 차지하고 있다. <sup>8,9)</sup> 먹는물 중 염소 소독부산물의 규제는 1990년 THM, 2002년 HAA에 대해 0.1 mg/L을 기준으로 관리되고 있으며, 이 외에 다양한 소독부산물 등이 먹는물 수질기준 및 감시항목으로 운영·관리되고 있다. 2017년 현재 K-water가 운영하고 있는 광역정수장 수돗물 중 THM, HAA의 연평균농도는 각각 0.022 mg/L, 0.015 mg/L였으며, 낙동강수계 본류를 취수원으로 하고 있는 구미, 고령, 반송정수장의 THM과 HAA는 평균 0.032 mg/L, 0.009 mg/L으로 조사되었다.<sup>6)</sup> 조사결과 전체 광역정수장에 비해 낙동강수계 정수장에서 오히려 HAA는 낮은 것으로 조사되었으며, 모두 먹는물 수질기준의 1/3 수준의 매우 낮은 농도로 유지관리되고 있어 수질 안전상에 문제점은 없는 것으로 조사되고 있으나 낙동강 상수원수의 수질변화 및 이에 따른 소독부산물 생성량 변화 등에 대한 데이터를 확보하는 것은 소독부산물 관리 방안 마련에 매우 중요하다고 할 수 있다.<sup>6)</sup> 본 연구는 낙동강수계의 최상류인 예천에서 하류인 하구둑까지 주요 지점의 유기물 발생 및 분포 특성과 이러한 특성이 THM, HAA와 같은 소독부산물 생성능에 미치는 영향 파악을 바탕으로 두 인자간의 상관성을 조사하여 현황 파악 및 소독부산물 증가시 원인규명을 위한 기초자료를 확보하고자 하였다.

## 2. 조사대상 및 방법

### 2.1. 조사대상

본 연구는 낙동강수계 상류에서 하류까지 하천, 호소

를 대표할 수 있는 지점으로 안동댐에서 하구둑까지 낙동강 본류 18개 지점과 위천~밀양강까지 지류 11개 지점 등 총 29개 지점을 대상으로 하였다(Fig. 1).

### 2.2. 시료채취 및 조사항목

수질변화 추이를 파악하기 위하여 2017년 5~8월까지 하천과 호소 표층수를 대상으로 매월 1회, 총 4회 현장에서 직접 채수를 실시하였다. 조사 기간 중 강우시에는 수계의 수질변동을 고려하여 강우 직후를 피해 채수하였으며, 조사 기간 동안의 낙동강 수계가 위치한 경북과 경남지역의 평균강수량은 5~6월, 7~8월 각각 175 mm, 720.8 mm로 4배 이상 증가한 것으로 조사되었다.<sup>7)</sup> 각각 조사항목으로는 유기물을 중심으로 한 수질변화 추이 파악을 위해 수온, pH 등 기초항목 8개와 더불어 COD, NOM 등 유기물 항목 5개, THMFP, HAAFP 등 소독부산물 생성능 3개 등 총 14개 항목에 대해 수질조사를 실시하였다.

### 2.3. 분석방법

#### 2.3.1. 자연유기물질(NOM)

하천의 유기물 특성 파악을 위해 TOC(총유기탄소)측정기와 direct injection mode를 이용한 크기배제크로마토그래피(Size Exclusion Chromatography), 고감도 유기탄소 검출기를 장착한 독일 DOCLAB의 LC-OCD(Liquid Chromatography-Organic Carbon Detection)를 이용하여 분석하였다(Table 1).

LC-OCD 시스템은 인산염 완충액을 이동상 용매로 하고, 컬럼을 통하여 분리된 화합물질들은 UV<sub>254</sub> 검출기와 TFR(Thin Film Reactor)에서 185 nm의 파장을 갖는 UV 램프에 의하여 CO<sub>2</sub>로 산화된 뒤 NDIR(Non-Dispersive Infrared, 비분산적외선) 검출기로 실시간 검출하는 시스

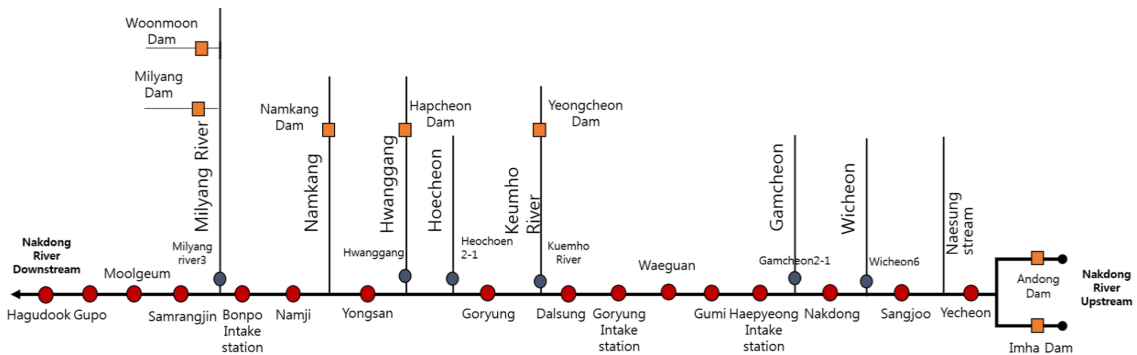


Fig. 1. Diagram of investigation points.

**Table 1.** Operating conditions for LC-OCD<sup>12)</sup>

|                            |   |
|----------------------------|---|
| Energy consumption         | : 1.5 KWh   |
| Environment temperature    | : 20~30°C (25°C recommended)                          |
| UV-Lamp zero water reactor | : 990 V/80 mA   |
| UV-Lamp thin film reactor  | : 2000 V/40 mA  |
| Carrier gas                | : Nitrogen 4.0 or 5.0, about 20 L/h                   |
| Mobile phase               | : Phosphate buffer 28 mmol, pH 6.58, about 2 L/24 hrs |
| Acidification solution     | : Phosphoric Acid pH 1.5, about 0.5 L/24 hrs          |
| Measuring range TOC        | : 10~5,000 µg/L                                       |
| Detection limit TOC        | : 2~10 µg/L   |
| Detection limit LC-OCD     | : 5~50 µg/L (per compound)                            |

템이다. LC-OCD 시스템의 NDIR 검출기로 검출된 시그널은 정량분석 프로그램을 통하여 유기물질 농도로 환산되고, 분자 크기별로 5~50 µg/L의 검출한계를 갖고 있으며, NOM 크로마토그램은 다음과 같이 시료별로 구별 가능한 특성이 있다. NOM의 fraction을 분자량 20,000 Da 이상의 고분자물질인 polysaccharide부터 소독부산물 전구물질로 잘 알려진 휴믹물질(Humic Substances, HS) (500-1,200 Da), building block (350-500 Da), 분자량 350 Da 이하인 acids와 neutral 등 분자 크기별로 분리하여 정량값을 제시하였다. 이러한 자연유기물질의 기원을 파악하기 위해 Huber 등(1991)<sup>13)</sup>이 제시한 HS-Diagram을 이용하여 5~8월 낙동강 분류와 지류의 SUVA 값과 휴믹물질의 수평균분자량값(M<sub>n</sub>)을 구하고, 이를 HS-Diagram에 대입하여 원수의 기원에 대하여 토양(pedogenic) 혹은 수중(aquagenic) 기원 여부를 분석하였다.

2.3.2. 소독부산물 생성능

소독부산물 생성능(Disinfection by-product formation potential, DBFPF) 파악을 위해서 Standard Method 5710을 변형하여 전처리 실시 후 분석을 실시하였다. 시료(200 mL)를 pH 7.0±0.2로 조정 후, 환경부의 고도정수처리시설 도입 및 평가지침에 따라 염소 주입률이 3×TOC(mg/L)+7.6×NH<sub>3</sub>-N(mg/L)가 되도록 주입 후 인산염 완충액을 넣고 20°C 항온수조에서 3일간 반응 후에 탈염하여 분석을 실시하였다. 탈염 후 잔류염소를 측정하여 완전히 탈염이 되었는지 확인하였다. 염소소독부산물인 THMFP는 Purge & Trap auto-sampler(Tekmar Velocity XPT)가 부착된 GC/MS(Scion 320MS)를 이용하여 분석을 실시하였으며, HAAFP는 먹는물수질공정시험법에 근거하여 전처리 후 GC/ECD(Scion 450GC)를 사용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 자연유기물(NOM) 분포특성

자연유기물(NOM)은 SEC와 고감도 유기탄소 검출기를 장착한 LC-OCD를 이용하여 분석을 실시하였으며, 분석결과는 분자량 20,000 Da 이상의 고분자물질인 biopolymer, 소독부산물 전구물질로 알려진 휴믹물질 (500~1,200 Da), building block(350~500 Da), 분자량이 350 Da 이하인 acid 와 neutral로 분리하여 정량화하였다<sup>14)</sup>. 이 결과를 바탕으로 분류와 지류, 상·하류 간의 NOM 구성성분 농도 및 비율의 변화를 분석하였고, 휴믹물질을 대상으로 SUVA 값과 평균 분자량 값을 이용한 HS-Diagram 작성을 통해 표준물질과의 비교분석으로 유기물 기원을 추정하였다. 낙동강 분류 18개와 지류 11개 지점에서 CDOC(Chromatographic Dissolved Organic Carbon, 크로마토그래피로 분리되는 DOC) 평균값은 각각 2.92 mg/L, 2.86 mg/L로 분류와 지류간의 큰 차이를 보이지 않았으며(Table 2), CDOC 중 휴믹물질이 차지하는 비율은 7~8월에 약 10% 정도 증가하는 것으로 조사되었다. 특히 5~6월에 비해 7~8월 중 휴믹물질의 농도는 1.016 mg/L에서 1.718 mg/L로 양적으로 약 70% 가까이 높아진 것으로 조사되었다.

SUVA(Specific Ultraviolet Absorbance) 값은 254 nm에서 자외선 흡광도를 용존유기탄소(DOC)로 나눈 후 100을 곱하여 측정하는 방법이다. 유기물 중 방향족 화합물의 구성비가 높고 분자량이 큰 소수성 물질인 경우 SUVA 값이 높은 반면 친수성 물질은 방향족 화합물의 구성비가 낮고 분자량이 작아 낮은 SUVA 값을 나타내며, 일반적으로 SUVA값이 클수록 염소 소독시 소독부산물을 형성할 가능성이 높다고 알려져 있다.<sup>5)</sup> SUVA값이 3 이하이면 상대적으로 휴믹물질이 아닌 친수성 저분자인 유기물로 구성되며, 4~5일 경우 DOC는 소수성

**Table 2.** Concentration and component ratio of CDOC and Humic S. in the Nakdong River

| Category  | mainstream (mg/L) |          |               | tributary (mg/L) |          |               |
|-----------|-------------------|----------|---------------|------------------|----------|---------------|
|           | CDOC              | Humic S. | Humic S./CDOC | CDOC             | Humic S. | Humic S./CDOC |
| May~Jun.  | 2.500             | 1.016    | 40.6%         | 2.787            | 1.125    | 40.4%         |
| Jul.~Aug. | 3.344             | 1.718    | 51.4%         | 2.939            | 1.506    | 51.2%         |
| Average   | 2.922             | 1.367    | 46.8%         | 2.863            | 1.315    | 45.9%         |

**Table 3.** SUVA value in the Nakdong River

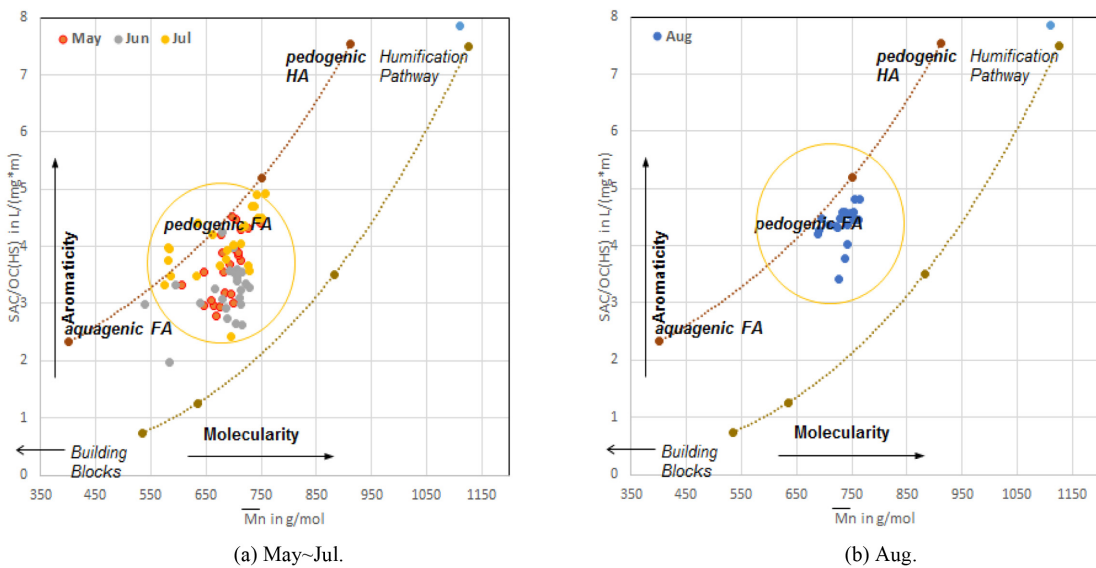
| Con. (L/(mg·m)) | May         |           | Jun.        |           | Jul.        |           | Aug.        |           |
|-----------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
|                 | main stream | tributary | main stream | tributary | main stream | tributary | main stream | tributary |
| Average         | 2.33        | 2.62      | 2.25        | 2.56      | 2.88        | 2.60      | 3.41        | 3.63      |
| Min             | 1.73        | 1.80      | 1.79        | 2.07      | 1.36        | 1.51      | 2.29        | 3.27      |
| Max             | 2.96        | 3.19      | 2.77        | 2.78      | 3.98        | 3.63      | 3.98        | 3.81      |

방향족 고분자 유기물로 구성된다.<sup>15)</sup> 낙동강 본류와 지류의 SUVA 값은 5~7월까지 모두 3이하(본류 2.25~2.88, 지류 2.56~2.62)였으며, 강우량이 증가하는 8월에는 본류 3.41, 지류 3.63으로 하절기로 갈수록 점차 증가 추세인 것으로 조사되어, 이는 소독부산물 생성능 증가에도 영향을 미친 것으로 추정할 수 있다(Table 3).

HS-Diagram은 자연유기물질 중에서 휴믹물질을 대상으로 SUVA 값과 휴믹물질의 수평균분자량 ( $M_n$ )의 도표로서 휴믹물질의 기원에 대한 정보를 제공할 수 있다.<sup>13,16)</sup>

시료의 유기물 성분이 어디에서 기원되었는지에 따라 유기물의 특성이 다르기 때문에 유기물 기원을 알아보는 것이 중요하며, 이 기원에 대한 정보를 HS-Diagram에서

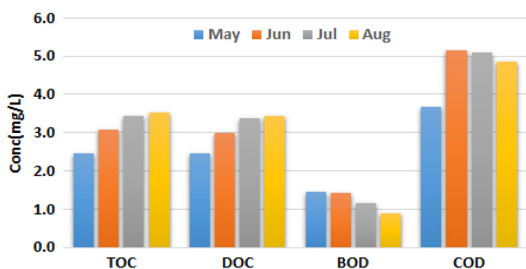
얻을 수 있다. HS-Diagram에서 Y축을 나타내는 SUVA 값이 크면서, X축인 수평균분자량( $M_n$ )이 큰 시료의 경우 HS-pathway에서 가장 오른쪽 위, 즉, HS-Diagram의 우측 상단에 위치한다. 이 부근에 위치하는 유기물의 기원은 주로 Allochthonous(타지성, 수로 밖에서 발생하여 수로로 유입된 물질) NOM으로 판단할 수 있다. 반면에 Y축 SUVA 값이 작고, X축의 수평균분자량( $M_n$ )도 값이 작은 경우에는 HS-pathway에서 좌측 하단에 나타나며 이 부근에 위치하는 유기물의 기원은 Autochthonous(토착성, 자생) NOM으로 판단할 수 있다. HS-pathway에서 중간 부분은 Pedogenic FA가 주성분으로 시료를 분석해서 세부적으로 어느 지점에 위치하느냐에 따라서



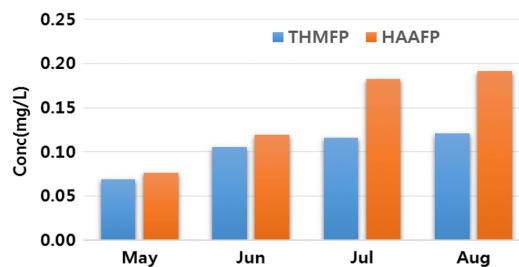
**Fig. 2.** HS-Diagram of the Nakdong River (May~Aug).

**Table 4.** Aromaticity & molecular weight of the Nakdong River

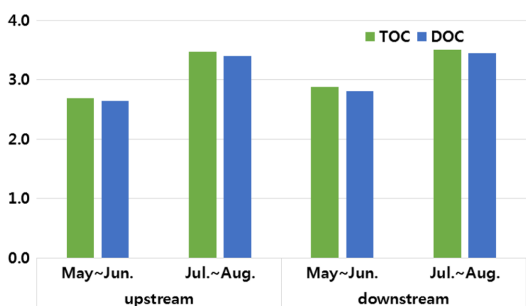
| Category | Aromaticity |       |       |       | Molecular weight |      |      |      |
|----------|-------------|-------|-------|-------|------------------|------|------|------|
|          | May         | Jun.  | Jul.  | Aug.  | May              | Jun. | Jul. | Aug. |
| Average  | 3.583       | 3.175 | 4.011 | 4.466 | 684              | 679  | 671  | 733  |
| Max      | 4.526       | 3.987 | 4.935 | 4.821 | 727              | 729  | 758  | 765  |
| Min      | 2.779       | 1.971 | 2.434 | 4.033 | 605              | 540  | 575  | 689  |



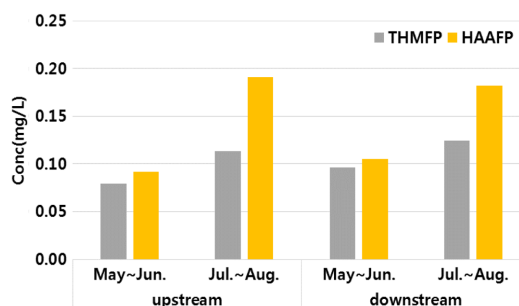
**Fig. 3.** Organic concentration in the main stream of the Nakdong River (May~Aug).



**Fig. 5.** DBPFP concentration in the main stream of the Nakdong River (May~Aug).



**Fig. 4.** TOC and DOC concentration in the main stream of the Nakdong River (May~Aug).



**Fig. 6.** DBPFP concentration upstream and downstream of the Nakdong River (May~Aug).

시료의 유기물 기원을 추정할 수 있다. 이러한 방식으로, 본 연구에서도 HS-Diagram 도시를 통해 시료에 들어있는 유기물의 기원을 조사하였다. 낙동강 본류와 지류를 대상으로 조사한 결과 SUVA 값과  $M_n$  값이 가장 높은 달은 8월로서 각각 4.46 L/(mg·m), 733 g/mol 값을 보였다. 가장 낮은 값은 6월로서 3.17 L/(mg·m), 679 g/mol 이었다(Table 4). HS-Diagram을 월별로 비교해보면 8월은 전체 시료가 pedogenic FA에 집중 분포되어 있는 형태를 보였다(Fig. 2(b)). 이는 낙동강 상류에서 강우에 의해 유입된 토양유래 유기물이 강우시 유입되어 수체 내에 분포되어 있는 것으로 해석할 수 있다.

### 3.2. 유기물과 소독부산물 생성능 상관성 분석

낙동강 본류의 평균 TOC, DOC는 각각 3.13, 3.07

mg/L, 평균 BOD는 1.2 mg/L, 평균 COD는 4.7 mg/L로 조사되었으며 5~6월 중 평균 TOC, DOC는 2.7 mg/L에서 7~8월에는 3.4 mg/L로 약 26%, 평균 COD는 12% (4.4 mg/L → 5.0 mg/L) 증가한 반면, 평균 BOD는 7~8월에 오히려 감소(1.4 mg/L → 1.0 mg/L)하였으며, 낙동강 본류 상·하류(금호강 유입지점)로 구분 시 상류 TOC, DOC는 3.02~3.08 mg/L, 하류 3.13~3.19 mg/L로 상·하류간 유기물 농도 차는 크지 않는 것으로 조사되었다.

조사결과 소독부산물 생성능도 유기물 농도와 유사한 패턴으로 강우량이 증가하는 하절기로 갈수록 큰폭으로 증가하였는데 앞서 언급한 바와 같이 유기물 증가폭은 26%인 반면 THMFP는 36% (0.087 mg/L → 0.118 mg/L), HAAFP는 91% (0.098 mg/L → 0.187 mg/L)

Table 5. DBPFP per unit DOC concentration

| Category  | DOC (mg/L) | THMFPP (mg/L) | THMFPP/DOC | HAAFP (mg/L) | HAAFP/DOC |
|-----------|------------|---------------|------------|--------------|-----------|
| May~Jun.  | 2.71       | 0.087         | 0.032      | 0.098        | 0.036     |
| Jul.~Aug. | 3.42       | 0.118         | 0.035      | 0.187        | 0.055     |
| Average   | 3.07       | 0.103         | 0.033      | 0.142        | 0.046     |

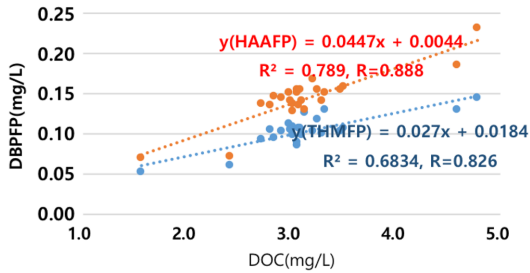


Fig. 7. Correlation between DOC and DBPFP.

로 상대적으로 큰 폭으로 증가하였으며(Fig. 5), 상·하류 간 소독부산물 생성능 차이는 거의 없는 것으로 조사되었다(Fig. 6).

낙동강 본류구간을 중심으로 단위 유기물(DOC) 당 소독부산물 생성능 조사결과 THMFPP는 5~6월과 7~8월에 0.032~0.035로 증가폭이 작았으나, HAAFP는 0.036~0.055로 7~8월 사이에 유기물 증가량에 대해 비교적 큰 폭으로 증가하였다(Table 5).

또한 낙동강수계 유기물농도와 소독부산물 생성능과의 상관성 분석결과 DOC와 HAAFP 상관계수는 0.888, THMFPP와의 결정계수는 0.826으로 비교적 높은 상관성을 보였다( $p < 0.01$ )(Fig. 7).

#### 4. 결 론

본 연구에서는 낙동강 수계 상류인 예천에서 낙동강 하구둑까지 유기물 분포 특성과 소독부산물 생성과의 상관성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 조사기간 중 낙동강 본류와 지류의 유기물농도에는 큰 차이가 없었으나, 낙동강 본류 기준으로 강우량이 집중되는 7~8월에 CDOC와 휴믹물질이 각각 34%, 69% 증가하였으며, 특히 전체 NOM 구성성분 중 휴믹물질이 차지하는 비율이 10% 이상 증가하는 것으로 나타났다.

2) 낙동강수계 NOM 기원예측을 위해 HS-Diagram을 작성하여 분석한 결과 SUVA 값과 휴믹물질의 평균분자량은 각각 2.25~3.41 L/(mg·m), 689~741 g/mol 범위

로 조사되었으며, 5~6월에는 pedogenic FA, aquagenic FA에 특성을 보인 반면, 7~8월에는 pedogenic FA 특성을 나타내었는데, 이는 7월부터 시작되는 집중강우시기에 수중에 유입된 자연유기물질의 영향으로 인하여 pedogenic FA에 가까운 값을 나타낸 것으로 추정되었으며, 본류와 지류 사이에는 큰 차이를 보이지 않고 유사한 패턴을 보이는 것으로 조사되었다.

3) 금호강을 기점으로 낙동강 상·하류로 구분 시 상·하류 본류구간의 평균 유기물(TOC, DOC) 농도와 소독부산물 생성능에는 큰 차이가 발생하지 않았으나, 7~8월 사이 유기물농도 증가(26%)에 따라 소독부산물 생성능이 THMFPP는 36%, HAAFP는 91% 큰 폭으로 증가하여 낙동강 수질에 미치는 영향은 상·하류 지점보다는 계절적 영향을 많이 받는 것을 알 수 있었으며, 7~8월의 CDOC와 휴믹물질의 증가가 소독부산물 생성능 증가에 일정부분 상당한 영향을 끼치는 것으로 추정할 수 있으나, 금번 연구에서는 단기간의 조사로 인한 한계로 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

4) 낙동강수계 본류구간에서 단위 유기물당 생성되는 소독부산물은 0.033 THMFPP/DOC, 0.046 HAAFP/DOC였으며, 유기물(DOC) 농도와 소독부산물 생성능과의 상관성 분석결과 결정계수가 각각 THMFPP는 0.683, HAAFP는 0.789( $p < 0.01$ )로 비교적 높은 상관성이 있는 것으로 조사되었다. 4회의 조사결과를 통한 NOM 구성물질별 소독부산물 생성능간의 상관관계를 수치적으로 도출하기에는 한계가 있겠으나, NOM의 주된 구성성분인 휴믹물질, building block 두 가지 물질이 소독부산물 생성에 금번 연구에서 도출한 상관계수 수준의 상당한 영향을 미치는 물질로 판단된다.

#### 참고문헌

1. Y. J. Jung, N. Y. Kim and H. C. Kim, "NOM characteristics by the turbidity in-flow in lake Soyang", *Proceedings of Korean Society of water & wastewater and Korean Society on water Environment, Autumn Symposium, 2007*, 55
2. [http://www.doc-instruments.de/DW\\_Ex12.html](http://www.doc-instruments.de/DW_Ex12.html)

3. P. Westerhoff, M. Rodriguez-Hernandez, L. Baker, M. Sommerfeld, "Seasonal occurrence and degradation of 2-methylisoborneol in water supply reservoirs", *Water Research*, **2005**, 39, 4899-4912.
4. Ministry of Environment(MOE), "Water Quality Standard Guide Book", **2017**, 70, 86
5. S. J. Yu, S. R. Ha, J. Y. Hwang and C. S. Kim, "Characteristics of Aqueous Organic Matter and Disinfection By-products (DBPs) Formation Potentials in Geum River", *Journal of Korean Society on Water Quality*, **2003**, 19, 707-713.
6. National Water Works Information System, www.water-now.go.kr, 2017.
7. National Weather Data Portal, www.data.kma.go.kr, 2017.
8. The Relationship between Disinfection By-Product Formation and Apparent Molecular Weight of Natural Organic Matter in the Raw Water for Drinking Water", *Journal of Korean Society of Environmental Engineering*, **2004**, 1278-1290.
9. J. Kim, Y. Chung, D. Shin, M. Kim, Y. Lee, Y. Lim and D. Lee, "Chlorination by-products in surface water treatment process", *Desalination*, **2002**, 151, 1-9.
10. G. L. Amy, J. Debroux, S. Sinha, P. Brndhuber and J. Cho, "Occurrence of disinfection by-products precursor in source water and DBPs in finished waters," in *Proceedings of the fourth International Workshop on Drinking Water Quality Management and Treatment Technology*, **1986**, 59-70.
11. C. Y. Chang, Y. H. Hsieh, Y. M. Lin, P. Y. Hu, C. C. Liu and K. H. Wang, "The organic precursors affecting the formation of disinfection by-products with chlorine dioxide", *Chemosphere*, **2001**, 44, 1153-1158.
12. I. H. Choi, Y. J. Jung, "Molecular Size Distribution of NOM in Conventional and Advanced Water Treatment Processes", *Journal of Korean Society on Water Quality*, **2008**, 24, 682-689.
13. S. A. Huber, A. Balz, M. Abert and W. Pronk, "Characterization of aquatic humic and non-humic matter with size-exclusion chromatography-organic carbon detection-organic nitrogen detection (LC-OCD-OND)", *Water Research*, **2011**, 45, 879-885.
14. I. H. Choi and Y. S. Lee, "Application of LC-OCD method for the characterization of NOM in Geum River", in *Proceedings of Korean Society of water & wastewater and Korean Society on water Environment, Autumn Symposium*, **2016**, P-81.
15. C. M. Yeom, Y. S. Choi, S. H. Cho and J. Y. Yoon, "Disinfection By-Products (DBPs) Formation Potential in Various Organic Sources", *Journal of Korean Society on Water Quality*, **2003**, 19, 127-133
16. T. Dittmar and G. Kattner, "Recalcitrant dissolved organic matter in the ocean: Major contribution of small amphiphilics," *Marine Chemistry*, **2003**, 82, 115-123.