

입자성 유기물의 안정동위원소비를 이용한 팔당호 수계내의 유기물 기원 연구

김민섭 · 김종민 · 황종연 · 김보경 · 조항수 · 윤석제 · 홍석영 · 권오상 · 이원석*

국립환경과학원 환경측정분석센터

Determination of the Origin of Particulate Organic Matter at the Lake Paldang using Stable Isotope Ratios ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$). Kim, Min-Seob, Jong-Min Kim, Jong-Yeon Hwang, Bo-Kyong Kim, Hang-Soo Cho, Seok Jea Youn, Suk-young Hong, Oh-Sang Kwon and Won-Seok Lee* (Environmental Measurement & Analysis Center, NIER)

Abstract Organic carbon and nitrogen stable isotope ratios of particulate organic matter (POM) were determined at 7 stations (6 stations in Han river and Paldang dam outflow station) from May to October 2013, in order to understand the origin of POM at the Han river. $\delta^{13}\text{C}$ values of POM in four stations showed significant seasonal changes season, but $\delta^{15}\text{N}$ values were enriched in around Kyeongan stream (K). POC, PN and Chl-*a* concentration showed a similar seasonal pattern in Kyeongan stream, with an apparent decrease from July to August. POC and PN concentration has a higher correlation with Chl-*a* concentration in Kyeongan stream (K). $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of POM has a lighter value during lower Chl-*a* concentration period, compared to other seasons. Our results revealed that Kyeongan stream (K) seemed to be influenced by substantial amount of organic manure or fertilizer input in 2013, compared to the previous year (2012). These results suggest that the analysis of stable isotope ratios is a simple but useful tool for the identification of organic matter origin in aquatic environments.

Key words: stable isotope, particulate organic matter, Han river

서 론

강, 호소수, 저수지내에 부유 및 침전하는 유기물질은 수생 및 육상으로부터 기인되는 여러 다른 종류의 유기물질로 이루어져 있다(Meyers *et al.*, 2001; Sharpe, 2007). 이러한 수층의 유기물질은 그 기원에 따라서 식물플랑크톤, 저서미세조류, 수생식물, 부착조류 등에 의해 생성

되는 내부생성 유기물 (autochthonous organic matter)과 주변 유역의 식생으로부터 기인되는 외부생성 유기물 (allochthonous organic matter)로 구분된다(Fry and Sherr, 1984; Owens, 1987). 식물플랑크톤이나 육상식물은 1차 생산자로서 이들이 사용한 무기탄소나 무기질소의 기록이 1차 생산자에 의해 생성된 유기물에 반영되기 때문에 그 기원을 해석하는 것이 가능하게 된다(Gal *et al.*, 2012; Lee *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2014). 이러한 유기물의 기원을 결정하는 중요한 요소로 안정동위원소비 ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$)가 지속적으로 활용되고 있다.

탄소 안정동위원소비 ($\delta^{13}\text{C}$)는 가스상, 동물, 식물에 이르기까지 그 범위가 100‰까지 넓은 범위에 걸쳐 존재

Manuscript received 13 June 2014, revised 29 June 2014,
revision accepted 30 June 2014
* Corresponding author: Tel: +82-32-560-8384, Fax: +82-32-560-7905,
E-mail: boystone@korea.kr

하며, 각각의 $\delta^{13}\text{C}$ 값의 차이를 이용하여 유기물의 기원을 파악하는 연구에 많이 이용된다(Xiao *et al.*, 2010; Wildhaber *et al.*, 2012). 육상식물은 대기중의 CO_2 를 이용하여 광합성을 하며, 담수생물의 경우에는 수층에 녹아 있는 용존 무기탄소를 이용하기 때문에, 담수 식물플랑크톤은 $-40 \sim -30\%$ 의 가벼운 값을 가지며(Rau, 1982; Meyers, 1994), C_3 계열 식물은 $-35 \sim -22\%$, C_4 계열 식물은 $-15 \sim -6\%$ (Smith and Epstein, 1971; O'Leary, 1988)의 범위를 나타낸다. 질소 안정동위원소비($\delta^{15}\text{N}$)는 수생태계에서 질소 비점오염원 유입원의 기원을 밝히는 연구에 많이 활용되었다(Meyers, 1997; Tesdal *et al.*, 2013). 대기중 질소의 $\delta^{15}\text{N}$ 값은 0% 이며, 질소 고정 박테리아 혹은 대기중의 질소를 이용하는 식물의 $\delta^{15}\text{N}$ 값은 0% 에 가깝다(Fry, 1988). 농가에서 많이 이용하는 화학비료는 $-5 \sim 5\%$ 의 $\delta^{15}\text{N}$ 값을 나타내며, 가축분뇨는 $10 \sim 20\%$, 가축 분뇨에서 발생한 암모니아 화합물로 만들어진 합성 비료는 $20 \sim 30\%$ 의 무거운 $\delta^{15}\text{N}$ 를 나타내고 있어서 질소의 기원을 추적하는 연구에 활용되고 있다(Costanzo *et al.*, 2001).

본 연구대상 호수인 팔당호는 1973년 남·북한강과 경안천이 합류하는 지점에 발전을 목적으로 댐을 축조하여 형성된 호수이다. 육수학적 특성은 수문 조작의 영향을 받으며 체류시간이 짧고 성층의 발달이 미약한 대표적인 하천형 호수이다(Kong, 1993). 팔당호에서 강우량 또는 유입량이 식물플랑크톤 발생에 미치는 영향은 매우 크다. 갈수기에는 유역의 고농도 영양물질이 유입되고 유량도 적어 체류시간이 길어지는 특성을 보인다. 이렇게 유입된 비점오염원 영양염은 식물플랑크톤의 생산력과 생체량에 영향을 미치며, 수환경의 변화를 유도한다(Shin *et al.*, 2003). 국내에서는 안정동위원소비를 이용한 비점오염원 연구가 저수지(Kim *et al.*, 2014), 탐진강(Gal *et al.*, 2012), 영산강(Lee *et al.*, 2012), 시화호(Lee *et al.*, 2014) 등에서 일부 진행되고 있지만, 한강 수계에서는 미비한 실정이다(Kim *et al.*, 2007).

본 연구의 목적은 팔당호에 유입되는 남한강, 북한강 및 경안천 지류를 대상으로 이화학적 요인 및 입자성 물질의 탄소 및 질소 안정동위원소비 측정을 통해 입자성 물질 유입원의 시공간적 변화를 추정해보고자 실시되었다.

재료 및 방법

1. 조사지점

한강은 우리나라 중부 최대의 하천으로 크게 남한강,

Table 1. Sampling stations in Paldang reservoir.

Sampling station	Code	Location
Bughan river	N	N37° 33', E127° 18'
Kyeongang stream	K	N37° 30', E127° 17'
Paldang reservoir	D	N37° 31', E127° 16'
Namhan river	S	N37° 31', E127° 21'

북한강, 한강 본류로 구분되며, 이들 지류가 합류되어 저수지인 팔당호(37° 30'N, 127° 20'E)를 이룬다. 팔당호는 홍수조절 및 상수원의 역할을 하는 다목적 저수지로서, 유역의 총 면적은 23,618 km^2 이고 북한강(45%), 남한강(52%), 경안천(2%)의 유역을 포함하고 있다(Kong, 1993). 평균 수심은 6.6m이고 최대수심은 25.5m이며 평균 체류시간은 5.1일이다. 평균 수심이 얕아 성층의 발달이 미약한 전형적인 하천형 인공호로서 유역 강우와 물질 부하등의 외부기인의 영향을 받는 역동적인 수환경 시스템에 해당된다(Kong, 1993; Shin *et al.*, 2003). 본 연구지역은 한강수계 중 팔당호와 그 상류 수계인 남한강, 북한강, 경안천 지역이며 자세한 위치 정보는 Table 1과 같다.

2. 수질자료 및 입자성 유기물 시료

모든 시료는 2013년 5월부터 10월까지 매달 1회 표층에서 반돈 채수기를 이용하여 채수하였으며, 20 μm 여과망을 통과시켜 2L 폴리에틸렌 용기에 보관한 후 당일 여과하였다. Chl-*a*의 농도는 직경 47 mm, 구경 0.65 μm 의 유리섬유 여과지(glass fiber filter paper, GF/F)에 여과한 후 90% 아세톤으로 추출하여 UV-Spectrophotometer(Perkin-Elmer, U.S.A)를 사용하여 분석하였다.

입자태 시료(POC, PN)는 수질 시료와 같은 위치에서 채집하였으며, 450°C에서 24시간 동안 태워서 유기물을 제거해 준 GF/F 여과지(47 mm, 0.45 μm)에 여과하였다. 여과된 시료는 영하 -80°C 에서 동결건조시켜 수분을 제거하였다.

3. 탄소, 질소 함량 및 안정동위원소비 분석

입자성 유기물 시료의 탄소 함량 및 안정동위원소비를 측정하기 위해서 1N 염산을 이용하여 진공 데시케이터 안에서 24시간 증기처리를 통하여 무기태 탄소를 제거해 주었다. 총 질소 함량 및 안정동위원소비 측정을 위한 시료는 염산 처리가 결과값에 영향을 미치므로 전처리를 하지 않았다(Bunn *et al.*, 1995). 시료내 유기물의 %C, %N, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ 비는 원소분석기와 연계된 continuous flow 방식의 안정동위원소 분석기(EA-IRMS: Ele-

mental Analyzer - Isotope Ratio Mass Spectrometry, vario Micro cube-Isoprime 100 - Elementar-GV Instrument, U.K)를 이용하여 분석하였다. 안정동위원소비는 ‰로 표현되며 δ 계산식은 아래와 같다.

$$\delta = [(R_{\text{sample}} / R_{\text{standard}}) - 1] \times 1000$$

$$R = {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}, {}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}$$

국제표준물은 δ¹³C는 VPDB (Vienna Pee Dee Belemnite), δ¹⁵N은 N2 (atmospheric air)를 이용하였다. δ¹³C 분석을 위한 표준물질은 IAEA-C-6 (Sucrose), USGS24 (Graphite)이며, δ¹⁵N 분석을 위한 표준물질은 IAEA-N-2 (Ammonium Sulfide), IAEA-NO-3 (Potassium nitrate)을 사용하였다. 각각의 분석 표준편차는 0.1‰, 0.2‰이다.

4. 통계분석

실험군간 각 분석항목의 차이에 대한 통계적 유의성을 검증하기 위하여 일원분산분석 (one-way ANOVA)을 실시하였으며, 실험군간 차이는 Tukey's HSD test를 사용하여 사후검정 하였고, 유의수준은 p<0.05를 기준으로 하였다 (SPSS Inc., v. 21.0.0).

결과 및 고찰

1. Chl-a, 입자성 유기탄소 및 총 질소 농도의 시·공간적 변화

조사 기간 동안 4개 정점 표층에서의 입자성 유기탄소 (POC; Particulate Organic Carbon), 입자성 질소 (PN; Particulate Nitrogen) 및 Chl. a의 농도를 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다. 입자성 유기탄소의 농도 범위는 팔당호 (D), 북한강 (N), 남한강 (S), 경안천 (K) 정점에서 각각 8~265 μgC L⁻¹, 840~1,140 μgC L⁻¹, 840~2,340 μgC L⁻¹, 1,260~2,700 μgC L⁻¹의 범위를 나타내고 있다 (Fig. 2). 또한 각 정점에서 입자성 질소의 농도 범위는 팔당호, 북한강, 남한강, 경안천 정점에서 각각 8~265 μgN L⁻¹, 10~94 μgN L⁻¹, 47~153 μgN L⁻¹, 53~370 μgN L⁻¹의 범위를 나타내고 있다 (Fig. 3). 각각의 조사 정점에서 경안천 (K) 정점이 타 정점 (N, S, D)에 비해 상대적으로 높은 입자성 유기탄소 및 입자성 질소 농도를 나타내었다. 각 정점에서의 Chl. a 농도 범위는 팔당호, 북한강, 남한강, 경안천 정점에서 9~31 μg L⁻¹, 6~10 μg L⁻¹, 16~57 μg L⁻¹, 4~118 μg L⁻¹로 경안천 정점에

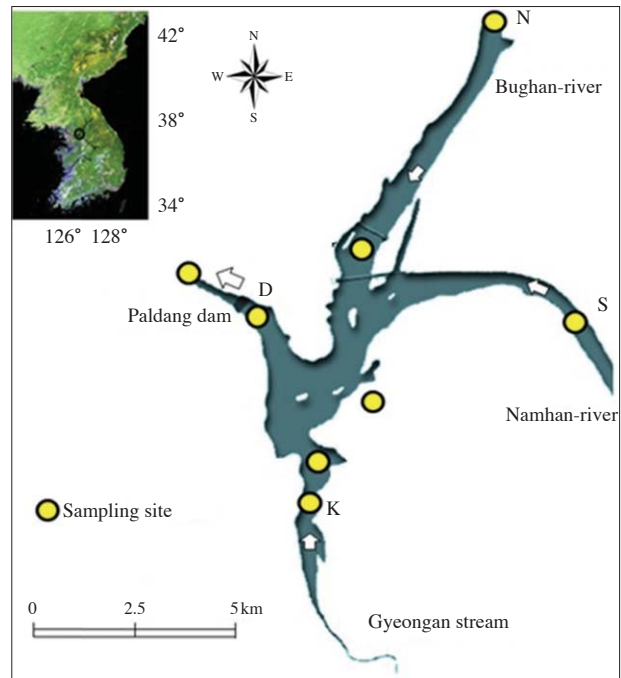


Fig. 1. Sampling stations in Paldang reservoir.

서 가장 높은 농도 범위를 보였다. 팔당호, 북한강, 남한강 정점에서 입자성 유기탄소 및 입자성 질소 농도가 Chl-a 농도와 유의한 상관관계를 보이지 않았다 (각각 p<0.001, p<0.001, p<0.001). 그러나 경안천 정점에서는 Chl-a 농도가 입자성 유기탄소 (r²=0.93) 및 입자성 질소 (r²=0.74) 농도와 높은 상관관계를 보였다. 경안천 수질은 전형적인 과영양화 상태이며 상류에 위치한 오폐수 처리장의 배출수로 인하여 높은 영양염 농도와 자생유기물의 폭발적인 증가를 보여왔다. Shin *et al.* (2000)은 경안천 지역은 북한강과 남한강의 다른 하천에 비해 오염수준이 가장 높으며, 점 오염원으로부터 유입되는 무기영양염 등으로 인해 식물플랑크톤의 폭발적인 성장을 유도한다고 보고하고 있다. 또한, 상 하류 구간에서 건설된 어도와 많은 수중보로 인하여 물의 흐름이 크게 저하되어 체류시간이 증가함에 따라서 자생유기물의 생산이 크다고 보고하였다. Eppley *et al.* (1977)은 POC와 Chl. a의 비가 100 이하이면 입자성 유기물의 기원이 자생기원, 100 이상이면 외부기원을 제시한 바 있다. 남한강, 경안천, 팔당호 지점의 경우 7, 8월을 제외하고는 모두 100 이하의 값을 나타내고 있어 위 기준을 적용하면 5, 6, 9, 10월의 경우 입자성 유기물내 내부기원 유기물의 기여도가 높은 것으로 여겨진다 (Table 2). 또한, 경안천 지역에서는 5, 6, 9, 10월에 다른 지역에 비해 POC

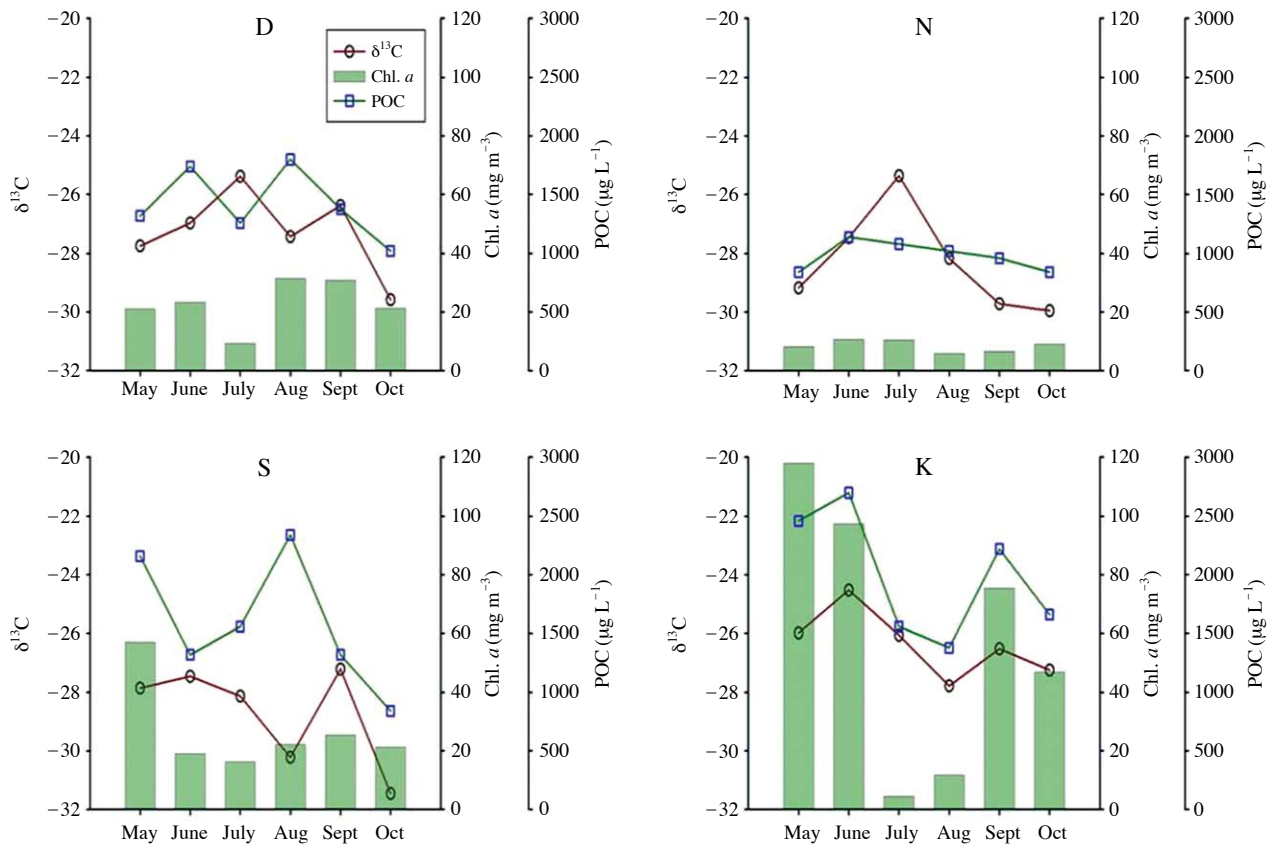


Fig. 2. Monthly variation of POC, PN and Chl-a concentration of sampling sites from May to October 2013.

와 Chl. a의 비가 가장 낮은 값을 나타내고 있어 자생기원 유기물의 기여가 클 것으로 여겨진다. 북한강 지점은 6월(99)을 제외하고는 모든 시기에 걸쳐 POC/Chl. a가 100 이상(110~272)을 나타내고 있어 외부 기원에 의한 입자성 유기물의 유입이 우세하였던 것으로 판단된다. 그러나 계절별로 살펴보면, 북한강, 남한강, 팔당호 지역에서는 큰 변화가 관찰되지 않았지만 경안천 지역에서는 뚜렷한 변화를 보이고 있다. 경안천 정점에서 5월에 20.8, 6월에 27.7, 7월에 339.1, 8월에 117.9, 9월에 29.4, 10월에 26.9의 범위를 보이고 있으며, 5, 6, 9, 10월경에는 입자성 유기물내에 자생기원이 대부분 기여를 하지만, 7월과 8월경에는 외부기원 유기물의 기여도가 높은 것으로 여겨진다(Table 2). 이러한 결과는 북한강, 남한강 등의 다른 지점과 비교하여 뚜렷하게 나타나며, 같은 시기에 입자성 유기탄소 및 입자성 질소의 농도가 감소한 결과와 일치한다(Figs. 2, 3). Kim *et al.* (2013)은 2013년 하절기에 강우로 인하여 유입량(하수, 농경지 배수 등)의 증가로 인하여 식물플랑크톤의 생물량이 큰 폭으로 감소하였다고 보고하였다. 경안천 지역이 다른 팔당

호 지류(남한강, 북한강 등)에 비하여 체류시간이 짧고 점오염원이 많아서 부영양화가 빈번하게 발생하지만, 본 연구시기에는 여름철 강우로 인하여 외부기원 유기물의 유입이 발생하였으며, 유량의 증가로 인한 물리적 희석 효과가 식물플랑크톤의 생물량의 감소를 야기하는 것으로 여겨진다.

2. 입자성 유기 물질의 탄소 및 질소 안정동위원소 비의 시·공간적 변화

탄소 안정동위원소 비($\delta^{13}C$)는 유기물의 기원을 추적할 수 있는 지표로서 활용되며, 육상 식물 중 C3 계열 식물은(밀, 벼 등) 약 $-20 \sim -35\%$ 의 값을 보이는 반면 C4 계열 식물은(옥수수, 사탕수수, 잡초, 수생식물 등) $-7 \sim -17\%$ 로 C3 계열 식물보다 무거운 값을 보인다(Deines, 1980; Ehleringer, 1989). 담수 식물플랑크톤의 경우 서식하는 수환경의 무기탄소 $\delta^{13}C$ 값에 의해 크게 변하기 때문에 $-20 \sim -40\%$ 의 넓은 범위를 보인다(France, 1995). 팔당호(D), 북한강(N), 남한강(S), 경안천(K) 정점에서

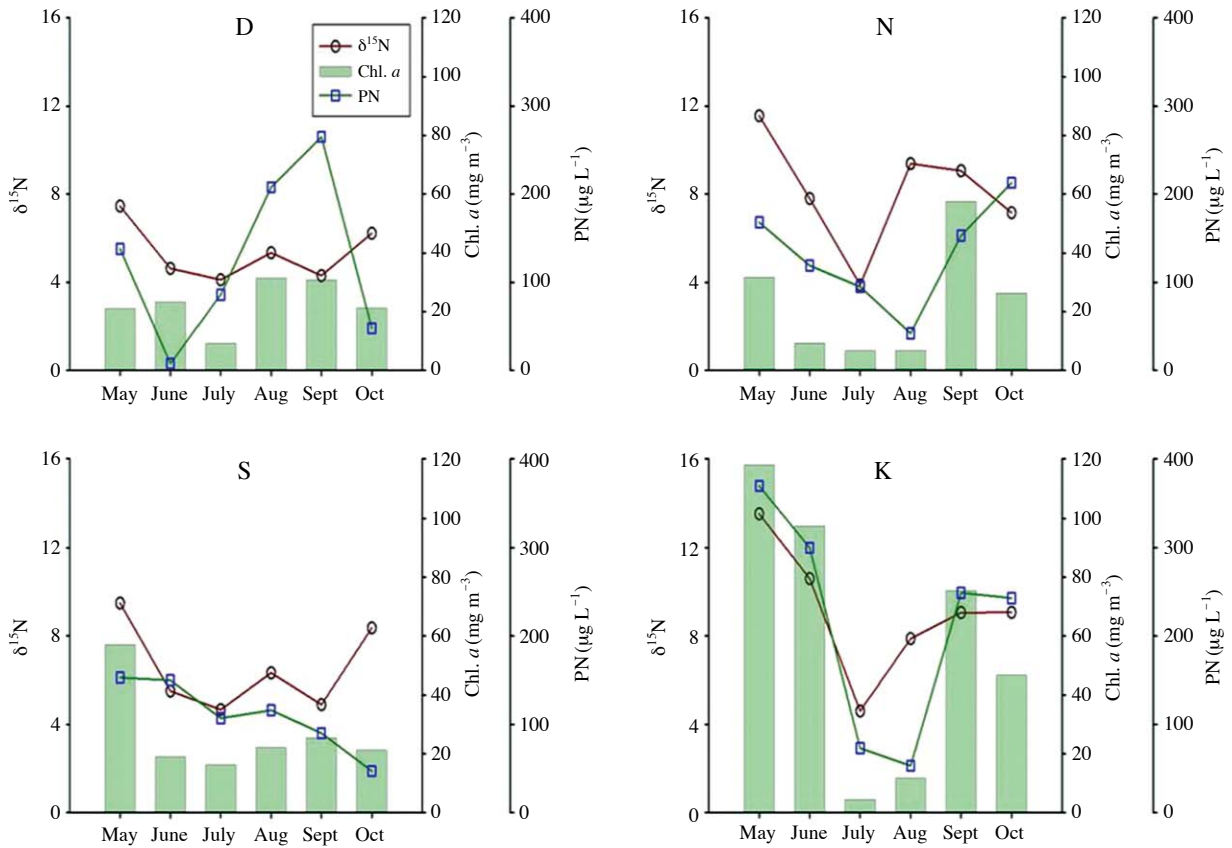


Fig. 3. Temporal changes of $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, POC, PN and Chl- a concentration of sampling sites from May to October 2013.

Table 2. Monthly POC/Chl. a fluctuation at Bughan river (N), Namhan river (S), Kyeongan stream (K) and Dam (D) sampling sites in Paldang reservoir.

Month	POC/Chl. a			
	Bughan-river (N)	Namhan-river (S)	Kyeongan stream (K)	Paldang reservoir (D)
May	145	36	21	62
June	99	67	27	72
July	122	94	329	129
August	201	103	117	56
September	272	51	29	44
October	110	38	26	45
Max	272	103	329	129
Min	99	36	21	44
Mean	158	65	91	68

탄소 안정동위원소비 ($\delta^{13}\text{C}$)의 범위는 값은 각각 $-25.3 \sim -29.5\text{‰}$, $-25.3 \sim -29.7\text{‰}$, $-27.4 \sim -31.4\text{‰}$, $-24.5 \sim -29.6\text{‰}$ 의 비슷한 변동을 보이며 (Fig. 4), 전체적으로 $-24.5 \sim -31.4\text{‰}$ 의 범위를 나타내고 있어서 담수 조류 혹은 C3 계열의 식물 기원을 반영하고 있는 것으로 여겨진다 (Fig. 4). 하지만 남한강 정점의 경우에는 일부 시점에서 다른 연구정점에 비해 가벼운 값을 보이고 있으며,

이는 육상기원 토양의 유입으로 인한 영향인 것으로 여겨진다. 영산강 (Lee *et al.*, 2013), 탐진강 (Gal *et al.*, 2012) 지역에서도 본 연구지역과 비슷한 범위의 탄소 안정동위원소비를 보이고 있으며, 일부 시기에 토사의 유입 등으로 인한 토양기원 유기물의 영향을 받는다고 보고하였다.

질소 안정동위원소비 ($\delta^{15}\text{N}$)는 질소원을 추적하는 유

용한 지표로서 활용될 수 있으며, 식물(plant)의 경우 -5~+2‰, 토양은 +2~5‰, 대기 중 질소를 이용하여 만든 인공비료의 경우 -4~+4‰, 식물사체나 동물들의 배설물로 만들어진 유기질 비료는 +2~+30‰, 동물의 배설물에서 기인한 질산염의 경우 +10~+20‰의 범위를 보인다(Fry, 1991; Kendall, 1998). 팔당호(D), 북한강(N), 남한강(S), 경안천(K) 정점에서 질소 안정동위원소비($\delta^{15}\text{N}$)는 각 정점에서 4.2~5.9‰, 2.0~6.0‰, 4.6~9.4‰, 4.6~13.5‰의 범위를 나타낸다(Fig. 4). 남한강, 팔당호 지역에서는 육상기원의 토양의 영향을 받고 있으며, 남한강 지역은 유기질 비료의 영향을 받는

것으로 여겨진다. 그러나 경안천은 다른 연구지역에 비해서 상당히 무거운 값을 나타내고 있으며 생활오수 혹은 축산배설물 기원 유기비료의 영향을 받는 것으로 여겨진다. Shin *et al.* (2000)의 보고에 따르면, 경안천은 주거생활환경 뿐만 아니라 농경과 축산을 주종으로 하는 농가들이 밀집되어 있으며, 생활 하수 및 오수를 처리하는 수환경 사업소들이 위치하고 있다. 이러한 결과는 식물플랑크톤이나 주변 육지식물이 사용하는 무기질소원이 이들에게서 기인하였음을 간접적으로 나타내지만 이를 확인하기 위해서는 직접적으로 영향을 주는 질소원의 추가적인 분석이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

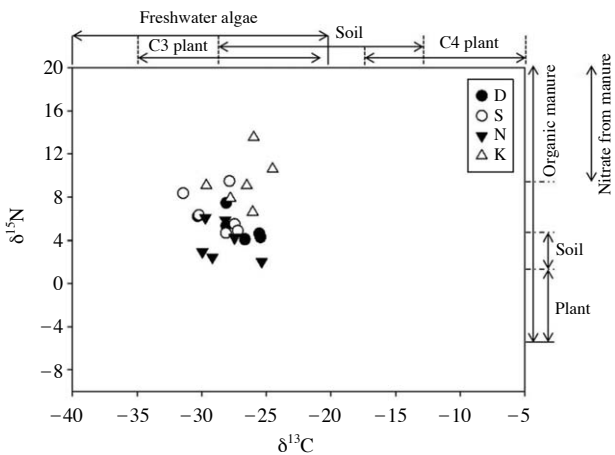


Fig. 4. Comparison of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of sampling sites at each month (from May to October, 2013) (Fry, 1991).

모든 연구정점에서 계절별 경향을 살펴보면, 남한강, 북한강, 팔당호 정점에서는 입자성 유기물질의 유기탄소 농도, 유기질소 농도, 탄소 안정동위원소비, 질소 안정동위원소비, Chl. *a*간의 유의한 상관성이 나타나지 않았다. 하지만 경안천 지점에서는 Chl. *a* 농도가 입자성 유기탄소($r^2=0.93$), 입자성 질소($r^2=0.74$), 질소 안정동위원소비($r^2=0.60$)와 높은 상관관계를 보이고 있다(Figs. 2, 3). 5, 6, 9, 10월경에는 입자성 유기탄소 및 질소, Chl. *a* 농도가 다른 연구지역에 비하여 매우 높은 값을 유지하고 있지만 7, 8월경에는 오히려 매우 낮은 값을 나타내고 있다. 또한, 7, 8월경에 입자성 유기물질의 탄소 및 질소 안정동위원소비가 가벼워지는 경향을 보이고 있으며, 이는 기존과는 다른 유기물 기원의 영향을 받는 것으로 여겨진다. 경안천(K) 정점에서 같은 시기에 분석한 2012년 자료와 비교해 본 결과, 2013년의 탄소 및 질소 안정동

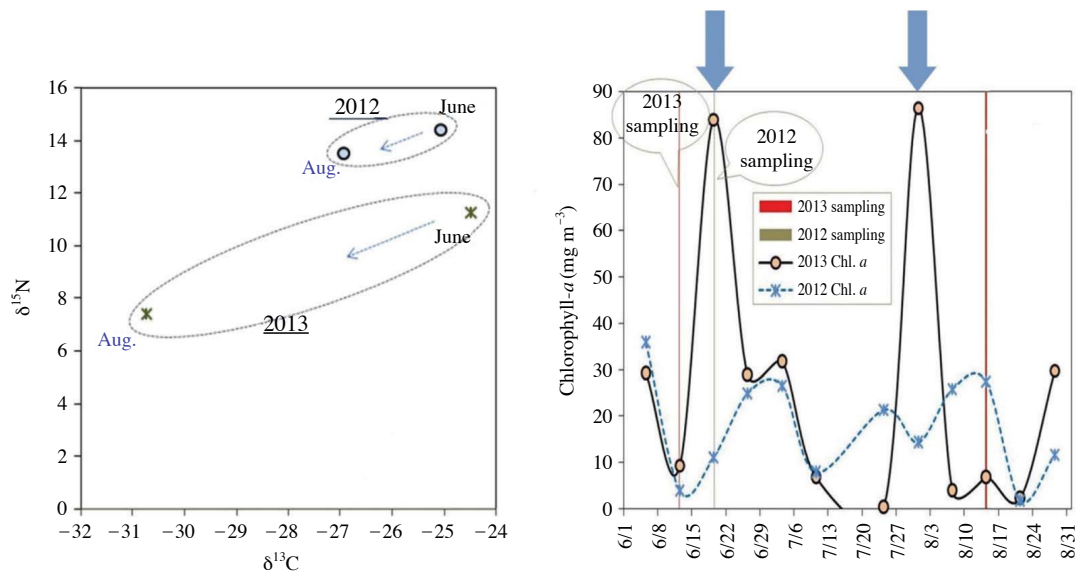


Fig. 5. Comparison of $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ values and Chl-*a* concentration between 2012 and 2013 at Kyeongan stream (K).

위원소비가 현저히 가벼워지는 경향을 나타냈다(Fig. 5). 2012년의 질소 안정동위원소비는 13.2~14.9‰로 2013년(6.2~10.6‰)에 비해서 무거운 값을 나타내고 있으며, 2012년의 탄소 안정동위원소비는 -27.2~-25.3‰로 2013년(-25.7~-29.3‰)에 비해서 무거운 값을 나타내고 있다. Kim *et al.* (2013)에 따르면, 2012년에 비해 2013년에 동 기간대 경안천으로의 유입유량 및 강우량이 큰 폭으로 증가였으며, 이로 인하여 탄소 및 질소 안정동위원소비가 가벼워지는 것으로 여겨진다. 이러한 결과는 2012년에 비하여 2013년에 크게 많아진 유입유량 및 강우량으로 인해 토양기원의 유기물이 유입되어 혼합 및 희석되었을 가능성을 제시할 수 있다. 반면 Chl. *a* 농도는(Fig. 5), 2013년에 채취한 시료에서 2012년보다 매우 낮은 농도값을 보이고 있어서 강우량의 증가로 인한 결과로 사료된다.

지리적으로 강을 통해 연결되어 있는 한강유역 정점들에서 입자성유기물의 탄소 및 질소 안정동위원소비가 시·공간적으로 상이하게 나타난 것은 조사 시기에 따라 상류를 통해 유입되는 유기물뿐만 아니라 지천을 통해 주변 유역에서 지속적으로 다양한 기원의 유기물들이 유입되고 있음을 의미한다. 이상의 결과로 볼 때 탄소 및 질소 안정동위원소비를 이용하여 각 원소 기원에 대한 추정은 어느 정도 가능할 것으로 판단된다. 그러나 문헌에서 제시한 기원을 판단하는 기준 범위는 너무 넓고 연구사례마다 조금씩 다른 기준을 제시하고 있어 실제로 하천이나 호수에서 조사된 동위원소비를 평가하기 위해서는 대상 하천이나 호수의 유역 오염원(하수처리장 방류수, 농경지 토양, 유역 주민거주지 하수, 축산농가의 폐수 등)에 대한 질소 동위원소비 조사와 이들이 하천에 유입된 시기의 수생식물 또는 식물플랑크톤 조사 등이 종합적으로 시행되어야 할 것으로 여겨진다. 본 연구 결과를 통해 탄소 및 질소 안정동위원소비는 유입원을 추적하는데 유용한 방법으로 사용될 수 있음을 확인하였다.

적 요

본 연구는 안정동위원소 분석방법을 적용하여, 호수 내 식물플랑크톤 성장에 영향을 미치는 외부 오염원의 기원을 추정함으로써, 효율적인 수질 관리 및 수생태계 기능해석을 제공하기 위하여 연구하였다. POC, PN, Chl. *a*, 탄소 안정동위원소비 및 질소 안정동위원소비의 자료로 유추해 보았을 때, 팔당댐, 남한강, 북한강 지역에

비해서 경안천 지역에서 계절에 따른 유기물의 기원 변동이 뚜렷하게 관찰되고 있다. 유입량 및 강우량이 많은 시기인 7, 8월경에 입자성 유기물의 기원이 자생기원 유기물보다는 외부기원 유기물이 높은 영향을 미치는 것으로 여겨진다. 한강 유역에서 입자성 유기물의 탄소 및 질소 안정동위원소비를 이용한 유기물 기원 연구는 적용가능 할 것으로 여겨지며, 추후 유역 오염원의 대표값(end member)의 지속적인 조사를 통하여 자료구축이 이루어져야 할 것이다.

사 사

본 연구는 2014년도 국립환경과학원 박사후 연수과정 지원 사업에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

Bunn, S.E., N.R. Loneragan and M.A. Kempster. 1995. Effects of acid washing on stable isotope ratios of C and N in penaeid shrimp and seagrass: Implications for food-web studies using multiple stable isotopes. *Limnology and Oceanography* **40**: 622-625.

Costanzo, S.D., M.J. O'Donohue, W.C. Dennison, N.R. Loneragan and M. Thomas. 2001. A new approach for detecting and mapping sewage impacts. *Marine Pollution Bulletin* **42**: 149-156.

Fry, B. and E.B. Sherr. 1984. $\delta^{13}\text{C}$ measurements as indicators of carbon flow in marine and freshwater ecosystems. *Contribution in Marine Science* **27**: 196-229.

Fry, B. 1988. Food web structure on Georges Bank from stable C, N, and S isotopic compositions. *Limnology and Oceanography* **33**: 1182-1190.

Fry, B. 1991. Stable isotope diagrams of freshwater foodwebs. *Ecology* **72**: 2293-2297.

Gal, J.K., M.S. Kim, Y.J. Lee, J.W. Seo and K.H. Shin. 2012. Foodweb of aquatic ecosystem within the Tamjin river through the determination of carbon and nitrogen stable isotope ratio. *Korean Journal of Limnological Society* **45**(2): 242-251.

Kim, J.K., B.C. Kim, S.M. Jung, C.G. Jang, M.S. Shin and Y.Y. Lee. 2007. The distribution of DOM and POM and the composition of stable carbon isotopes in streams of agricultural and forest watershed located in the Han river system, Korea. *Korean Journal of Limnological Society* **40**(1): 93-102.

Kim, M.S., Y.J. Lee, K.G. An, B.H. Kim, S.J. Hwang and K.H. Shin. 2014. Allochthonous organic matter contribution to foodweb in Shingu Agricultural reservoir after rainfall

- period. *Korean Journal of Ecology and Environment* **47**(1): 53-61.
- Kong, D.S. 1993. Ecological study of Paldang lake. Ph. D Thesis. Korea University.
- Lee, Y.J., B.K. Jeong, Y.S. Shin, S.H. Kim and K.H. Shin. 2013. Determination of the Origin of particulate organic matter at the estuary of Youngsan River using stable isotope ratios ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$). *Korean Journal of Ecology and Environment* **46**(2): 175-184.
- Lee, Y.J., J. Hur and K.H. Shin. 2014. Characterization and source identification of organic matter in view of land uses and heavy rainfall in the Lake Shihwa, Korea. *Marine Pollution Bulletin*. In press.
- Meyers, P.A. 1994. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. *Chemical Geology* **144**: 289-302.
- Meyers, P.A. 1997. Organic geochemical proxies of paleoceanographic, plaeolimnologic, and paleoclimatic processes. *Organic Geochemistry* **27**: 213-250.
- Meyers, P.A. and J.L. Teranes. 2001. Sediment organic matter. In: *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments: Physical and Geochemical Methods*, vol 2 (Last, W.M. and J.P. Smol, eds.). Kluwer Academic Publishers, Holland.
- Kim, J.M., B.K. Kim, M.S. Kim, H.W. Park, S.H. Choe, W.S. Lee, S.J. Youn and H.S. Cho. 2013. Evaluation of organic matter sources in reservoir using stable isotope analysis of phytoplankton. NIER-RP2013-258.
- O'Leary, M.H. 1988. Carbon isotopes in photosynthesis. *Bioscience* **38**(5): 328-336.
- Owens, N.J.R. 1987. Natural variation in ^{15}N in the marine environment. *Advances in Marine Biology* **24**: 390-451.
- Shin, J.K., J.L. Cho, S.J. Hwang and K.J. Cho. 2000. Eutrophication and water pollution characteristics of the Kyongan stream to Paldang reservoir. *Korean Journal of Limnological Society* **33**(4): 387-394.
- Shin, J.K., S.J. Hwang, C.K. Kang and H.S. Kim. 2003. Limnological characteristics of the river-type Paldang reservoir, Korea: hydrological and environmental factors. *Korean Journal of Limnological Society* **36**(3): 242-256.
- Smith, B.N. and S. Epstein. 1971. Two categories of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios for higher plants. *Plant Physiology* **47**: 380-384.
- Tesdal, J.E., E.D. Gallbraith and M. Kienast. 2013. Nitrogen isotopes in bulk marine sediment - linking seafloor observations with subseafloor records. *Biogeosciences* **10**: 101-118.
- Rau, G.H., R.E. Sweeney and I.R. Kaplan. 1982. Plankton ^{13}C : ^{12}C ratio changes with latitude: differences between northern and southern oceans. *Deep-Sea Research* **29**: 1035-1039.
- Sharpe, Z. 2007. Principles of isotope geochemistry. Prentice Hall, USA.