

## 질산염 및 식물플랑크톤의 안정동위원소비를 이용한 팔당호 수계내의 질소원 기원 연구

김민섭 · 이은정<sup>1</sup> · 윤숙희 · 임보라 · 박재선 · 박현우 · 정현미<sup>2</sup> · 최종우\*

국립환경과학원 환경측정분석센터, <sup>1</sup>국립환경과학원 한강물환경연구소, <sup>2</sup>국립환경과학원 환경기반연구부

**Determination of the Origin in both Dissolved Inorganic Nitrogen and Phytoplankton at the Lake Paldang using Stable Isotope Ratios ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ,  $\delta^{15}\text{N-NO}_3$  and  $\delta^{15}\text{N-NH}_4$ ).** Kim, Min-Seob (0000-0002-0365-7468), Eun-Jeong Lee<sup>1</sup> (0000-0002-7260-1900), Suk-Hee Yoon (0000-0003-2224-8632), Bo-La Lim (0000-0002-1188-2112), Jaeseon Park (0000-0003-2660-5924), Hyunwoo Park (0000-0003-3658-9497), Hyen-Mi Chung<sup>2</sup> (0000-0002-9288-5699) and Jong-Woo Choi\* (0000-0003-2331-3213) (*Environmental Measurement & Analysis Center, NIER*; <sup>1</sup>Han-River Environment Research Center, NIER; <sup>2</sup>Fundamental Environment Research Department, NIER)

**Abstract** The nitrogen isotope value in both ammonium and nitrate ion were determined at 9 stations during both June and August 2016, in order to understand the origin of DIN at the Han river.  $\delta^{15}\text{N-NO}_3$  and  $\delta^{15}\text{N-NH}_4$  values in 8 stations (CP, SB, MHC, P4, SJ, SBC, P2, SC) were no significant variation. However  $\delta^{15}\text{N-NO}_3$  and  $\delta^{15}\text{N-NH}_4$  values in KK (Kyeongang stream) showed significant different in comparison with 8 stations, with an apparent increase of nitrogen isotope values. These results indicate that antropogenic nitrogen source influence on KK station. Also the  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  isotope ratio of phytoplankton (Diatom and Cyanobacteria) in KK (Kyeongang stream) showed heavier values, compared to other study stations. These results indicate that nitrogen isotope value in phytoplankton effects by different nitrogen source in study sites. These results suggest that the analysis of stable isotope ratios is a simple but useful tool for the identification of dissolved inorganic nitrogen origin in aquatic environments.

**Key words:**  $\delta^{15}\text{N-NO}_3$  and  $\delta^{15}\text{N-NH}_4$ , Paldang lake, Kjeldahl method, nitrogen source tracing

### 서 론

조류(algae, 藻類)란 양치식물이나 관속식물을 제외한 광합성을 하고 산소를 생성하는 단세포 진핵생물인 원생생물(protoist)과 남조류(blue-green algae)라고 부르는 원핵생물인 남세균(cyanobacteria)을 통칭한다(Suikkanea *et al.*, 2010). 조류는 1차 생산자이자 동물플랑크톤 등 다

른 포식자의 주요 먹이원으로서 생태계 구조에 있어 중요한 위치를 차지한다. 또한 종 다양성이 풍부하고 생리·생태적 특성이 서로 다르며, 특정 환경에서 대발생이 야기 되면 다양한 환경문제(녹조, 적조 등) 혹은 수생태계 변화를 유발한다(Paerl *et al.*, 2001). 녹조현상 같은 조류 대발생은 주로 생활하수를 포함한 점오염원과 농지 및 산림으로부터 유출되는 불특정 비점오염원의 유입에 따라 수계내 과도한 영양물질(질소, 인) 축적이 이루어져 나타난다(Hargrave, 1991). 또한 심미적 불쾌감, 용존산소 고갈에 따른 어류폐사(Sinonen *et al.*, 1999), 독소 및 이취미 발생, 정수장 여과지 폐색과 같은 사회적 문제를 일으킨다(Watson

Manuscript received 12 December 2017, revised 30 December 2017, revision accepted 31 December 2017  
\* Corresponding author: Tel: +82-32-560-8383, Fax: +82-32-568-7905, E-mail: cjw111@korea.kr

*et al.*, 2004, 2007; Van Apeldoorn *et al.*, 2007). 그러므로 조류 대발생을 방지하기 위하여 외부기원 질소원(농약 및 비료, 축산폐수, 공장폐수, 생활하수 등)의 지속적인 조사와 관리가 매우 필요하다.

이러한 측면에서, 질소 안정동위원소의 자연 존재비는 수생태계내로 유입되는 질소 오염원의 기원 규명에 활용되어 왔다(Kohl *et al.*, 1971; Kellman and Hillaire-Marcel, 2003; Oren *et al.*, 2004; Choi *et al.*, 2011). 수질, 토양 등의 환경매체로 외부기원 유기물(비료 등)이 유입되어 기존에 존재하는 질소와 혼합되어 구분이 어려울 수 있지만, 질소 동위원소 추적자의 사용은 그 기원을 밝힐 수 있는 유일한 방법이다(Smith *et al.*, 1990). 대기 중 질소의  $\delta^{15}\text{N}$ 값은 0‰이며, 질소 고정 박테리아 혹은 대기 중의 질소를 이용하는 식물의  $\delta^{15}\text{N}$ 값은 0‰에 가깝다(Fry, 1988). 농가에서 많이 이용하는 화학비료는 -5~5‰의  $\delta^{15}\text{N}$ 값을 나타내며, 가축분뇨는 10~20‰, 가축 분뇨에서 발생한 암모니아 화합물로 만들어진 합성 비료는 20~30‰의 무거운  $\delta^{15}\text{N}$ 를 나타내고 있어서 질소의 기원을 추적하는 연구에 활용되고 있다(Costanzo *et al.*, 2001). 수질에서 입자성 물질의 질소 안정동위원소비 측정은 분석절차가 간단하고 보편화 되어있어 국내에서 질소염원을 판별하기 위한 많은 연구가 진행되고 있지만(Choi *et al.*, 2002, 2011; Min *et al.*, 2003; Kim *et al.*, 2014) 용존형태의 암모니아성 질소( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) 및 질산성 질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ )의 안정동위원소비 측정은(Sigman *et al.*, 1997; Holmes *et al.*, 1998; Kim *et al.*, 2015) 분석방법이 용이하지 않아 국내에서는 널리 사용되지 못하고 있는 실정이다.

본 연구지역 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.*, 2017) 등에서 일부 진행되고 있지만, 한강 수계에서는 미비한 실정이다(Kim *et al.*, 2007, 2014).

본 연구의 목적은 팔당호에 유입되는 남한강, 북한강 및 경안천 지류를 대상으로 입자성 물질의 탄소 및 질소 안정

동위원소비, 암모니아성 질소 및 질산성 질소 이온의 질소 안정동위원소비, 더 나아가 식물플랑크톤의 탄소, 질소 안정동위원소비 측정을 통해 질소 유입원의 시공간적 변화 및 수생태계에 미치는 영향을 알아보고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사지점

한강은 우리나라 중부 최대의 하천으로 크게 남한강, 북한강, 한강 본류로 구분되며, 이들 지류가 합류되어 저수지인 팔당호(37°30'N, 127°20'E)를 이룬다. 팔당호는 홍수 조절 및 상수원의 역할을 하는 다목적 저수지로서, 유역의 총 면적은 23,618 km<sup>2</sup>이고 북한강(45%), 남한강(52%), 경안천(2%)의 유역을 포함하고 있다(Kong, 1993). 평균 수심은 6.6 m이고 최대수심은 25.5 m이며 평균 체류시간은 5.1일이다. 평균 수심이 얕아 성층의 발달이 미약한 전형적인 하천형 인공호로서 유역 강우와 물질 부하등의 외부기원의 영향을 받는 역동적인 수환경 시스템에 해당된다(Kong, 1993; Shin *et al.*, 2003). 본 연구지역은 한강수계 중 팔당호와 그 상류 수계인 남한강, 북한강, 경안천 지역이다(Fig. 1).

### 2. 입자성 유기물 시료

수질시료는 2016년 6월 및 8월 표층수를 채수하였으며, 수체 내 존재하는 부유물 및 기타 생물들을 제거하기 위하여 식물플랑크톤 네트로 여과하여 여과수 2 L를 채수하였다. 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°C에서 동결건조시켜 수분을 제거하였다.

### 3. 식물플랑크톤

식물플랑크톤 시료는 네트(망목 20 μm)를 이용하여 수직 혹은 수평 예망하여 채집하였다. 식물플랑크톤 동정은 Sedgwick-Rafter counting chamber를 사용하여 위상차 현미경(×100~×1,000, Nikon eclipse, Japan)을 사용하였으며, 규조류와 남조류로 나누어 분리하여 450°C에서 24시간 동안 태워 유기물을 제거해 준 GF/F 여과지(47 mm, 0.45 μm)에 여과하였다. 여과된 시료는 영하 -80°C에서 동결건조시켜 수분을 제거하였다.



Fig. 1. Sampling stations in Paldang lake.

#### 4. 탄소 및 질소 안정동위원소 분석

입자성 유기물 및 식물플랑크톤 시료의 탄소 및 질소 안정동위원소비를 측정하기 위해서 1 N 염산을 이용하여 진공 데시케이터 안에서 24시간 증기처리를 통하여 무기태 탄소를 제거해 주었다. 총 질소 안정동위원소비 측정을 위한 시료는 염산 처리가 결과값에 영향을 미치므로 전처리를 하지 않았다(Kim *et al.*, 2016). 시료내 유기물의  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  비는 원소분석기와 연계된 continuous flow 방식의 안정동위원소 분석기(EA-IRMS : Elemental Analyzer - Isotope Ratio Mass Spectrometry, vario Micro cube-Isoprime 100 - Elementar-GV Instrument, U.K)를 이용하여 분석하였다. 안정동위원소비는 ‰로 표현되며  $\delta$  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  $\delta^{13}\text{C}$ 는 VPDB (Vienna Pee Dee Belemnite),  $\delta^{15}\text{N}$ 은  $\text{N}_2$  (atmospheric air)를 이용하였다.  $\delta^{13}\text{C}$  분석을 위

한 표준물질은 IAEA-C-6 (Sucrose), USGS24 (Graphite)이며,  $\delta^{15}\text{N}$  분석을 위한 표준물질은 IAEA-N-2 (Ammonium Sulfide), IAEA-NO-3 (Potassium nitrate)을 사용하였다. 각각의 분석 표준편차는 0.1‰, 0.2‰이다.

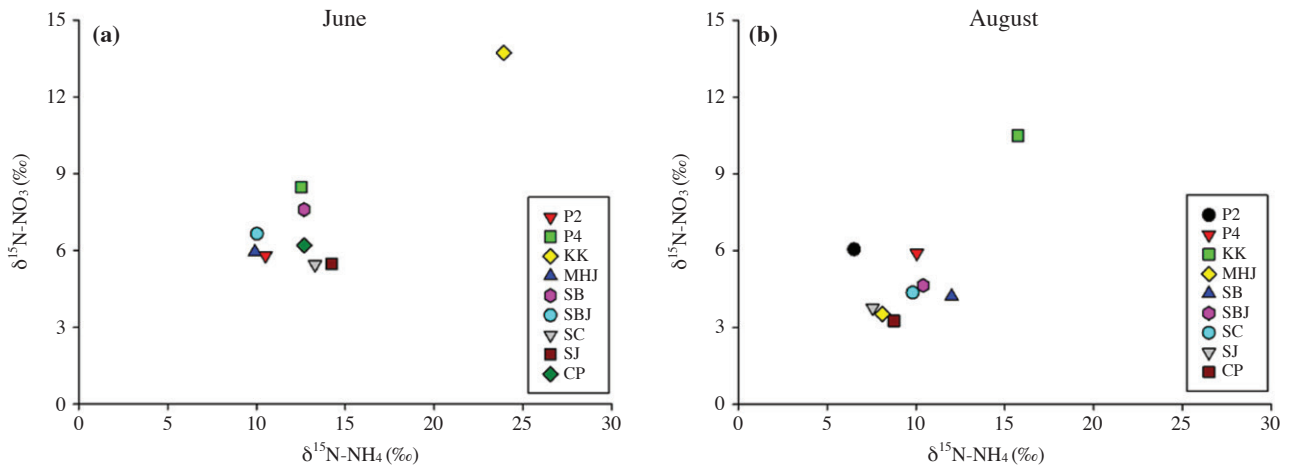
#### 5. 킬달(Kjedahl) 증류법

수질에서 영양염의 일종으로 존재하는 질산성질소 및 암모니아성 질소의 안정동위원소비 분석을 위해서 Kjedahl 증류법(Kim *et al.*, 2015)을 이용하였다. 수질시료 200 mL에 산화마그네슘(MgO)을 첨가하여 증류한 후 0.01 N 황산( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )에 암모니아( $\text{NH}_4^+$ )를 포집하였으며, 증류관을 방냉한 후 남은 증류시료에 Devada alloy를 투여하여 질산염( $\text{NO}_3^-$ )을 포집하였다. 포집한 시료는 0.01 N 수산화나트륨(NaOH)으로 pH를 3으로 조정한 후 건조하여 남은 백색 분말의 질소 안정동위원소비를 분석하였다.

## 결과 및 고찰

#### 1. 암모니아성 질소 및 질산성 질소의 거동

조사 기간(6, 8월) 동안 9개 정점 표층에서의 암모니아성 질소( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) 및 질산성 질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ )의 질소 안정동위원소비를 Fig. 2에 나타내었다. 6월경 연구지역의 암모니아성 질소 및 질산성 질소의 질소 안정동위원소비는 P2(팔당댐 앞) 정점이 10.5‰, 5.8‰, P4(한강물환경연구소 앞) 정점이 12.5‰, 8.4‰, MHJ(목현천 합류부) 정점이 12.5‰, 8.4‰, SB(삼봉천) 정점이 9.9‰, 5.9‰, SBJ(삼봉천 합류부) 정점이 10.0‰, 6.6‰, SC(송천하수처리장 방류구) 정점이 13.2‰, 5.4‰, SJ(서종대교) 정점이 14.2‰, 5.4‰, CP(청평) 정점이 12.6‰, 6.2‰로 비슷한 범위를 보였다. 그러나 KK(경안천) 정점에서 상대적으로 무거운 암모니아성 및 질산성 질소의 질소 안정동위원소비 값(23.9‰, 13.7)을 나타내어 타 연구지역과는 다른 질소 기원이 유입되고 있음을 시사하고 있다. 2차 연구시기에(8월경) 연구지역의 암모니아성 질소 및 질산성 질소의 질소 안정동위원소비는 P2(팔당댐 앞) 정점이 6.5‰, 6.0‰, P4(한강물환경연구소 앞) 정점이 10.0‰, 5.9‰, MHJ(목현천 합류부) 정점이 8.1‰, 3.5‰, SB(삼봉천) 정점이 12.0‰, 4.2‰, SBJ(삼봉천 합류부) 정점이 10.4‰, 4.6‰, SC(송천하수처리장 방류구) 정점이 9.8‰, 4.3‰, SJ(서종대교) 정점이 7.5‰, 3.7‰, CP(청평) 정점이 8.7‰, 3.2‰로 비슷한 범위를 보였다(Fig. 2). 그러나 KK(경안천) 정점에서 암모니아성 및 질산성 질소의 질소 안정동위원소비 값이 각각



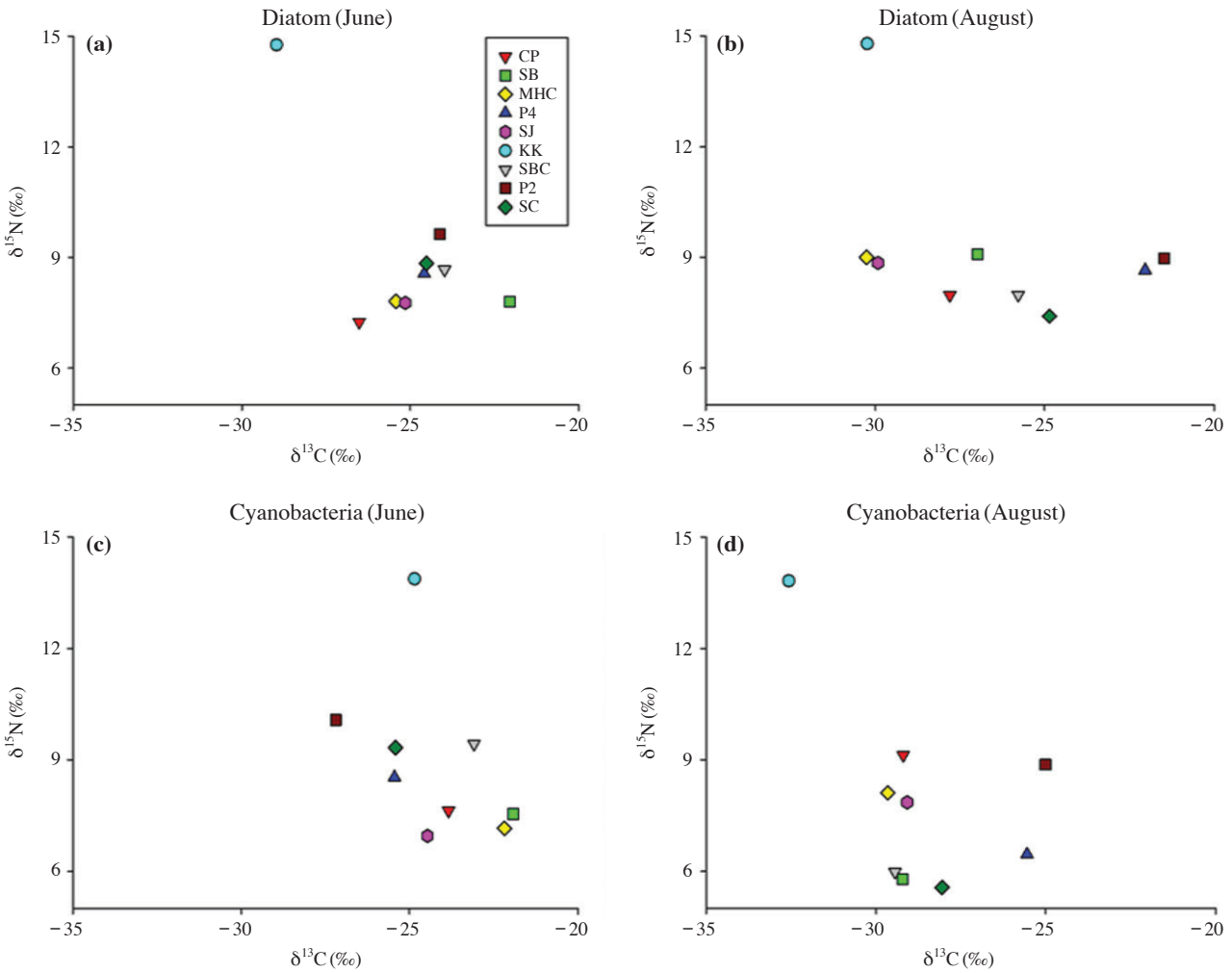
**Fig. 2.** The variation of nitrogen isotope values both  $\text{NH}_4$  and  $\text{NO}_3$  ion in study sites during June and August 2016. The study sites were P2 (Lake Paldang), P4 (Front of Hanriver water environment research center), MHJ (Junction of Mukhyun stream), SB (Sambong stream), SBJ (Junction of Sambong stream), SC (Discharge point of Songchon sewage treatment plant), SJ (Seojong bridge), CP (Cheongpyeong dam) and KK (Gyeongan stream).

15.7‰, 10.5‰로 상대적으로 무거운 값을 나타내어 타 연구지역과는 확연히 다른 질소원의 특징을 보이고 있다.

질소 안정동위원소비( $\delta^{15}\text{N}$ )는 질소원을 추적하는 유용한 지표로서 활용될 수 있으며, 식물(plant)의 경우  $-5\sim+2\%$ , 토양은  $+2\sim5\%$ , 대기 중 질소를 이용하여 만든 인공비료의 경우  $-4\sim+4\%$ , 생활오수 혹은 합성비료는  $+10\sim+15\%$ , 식물사체나 동물들의 배설물로 만들어진 유기질 비료는  $+10\sim+30\%$  (Fry, 1991; Kendall, 1998). 북한강, 남한강, 팔당호 지역에서는 육상기원의 토양 혹은 유기질 비료의 영향을 받는 것으로 여겨지지만 경안천은 다른 연구지역에 비해서 상당히 무거운 질소 안정동위원소비 값을 나타내고 있으며 생활오수 혹은 축산배설물 기원 유기비료의 영향을 받는 것으로 여겨진다. 경안천 유역은 인구가 밀집해있고 많은 하수처리장이 존재하고 있어 전형적인 과영양화 상태이며 높은 영양염 농도와 자생 유기물의 폭발적인 증가를 보여왔다(Shin *et al.*, 2003). 또한, Kim *et al.* (2014)의 연구결과에 따르면, 경안천 정점에서 POC와 Chl. a의 비가 5월에 20.8, 7월에 339.1, 8월에 117.9, 9월에 29.4, 10월에 26.9의 범위를 보이고 있으며, 5, 9, 10월경에는 입자성 유기물내에 자생기원이 대부분 기여를 하지만, 7월과 8월경에는 외부기원 유기물의 기여도가 높은 것으로 보고하였다(POC : Chl-a = < 100 자생기원 > 100(외부기원)). 이러한 결과는 본 연구에서 연구기간(6월, 8월) 동안 경안천의 암모니아성 질소 및 질산성 질소의 질소 안정동위원소비가 팔당댐 앞, 묵현천, 삼봉천, 문호천 등 다른 지류보다 확연하게 무거운 경향을 보이고 있어 앞선 연구 결과와 비슷한 경향을 보이고 있다.

## 2. 식물플랑크톤의 안정동위원소비 변화

조사 기간(6, 8월) 동안 9개 정점 표층에서 식물플랑크톤(규조류, 남조류)의 탄소 및 질소 안정동위원소비를 Fig. 3에 나타내었다. 6월경 연구지역에서 서식하는 규조류 식물플랑크톤의 탄소 및 질소 안정동위원소비는 P2(팔당댐 앞), P4(한강물환경연구소 앞), MHJ(묵현천 합류부), SB(삼봉천), SBJ(삼봉천 합류부), SC(송천하수처리장 방류구), SJ(서종대교), CP(청평댐) 정점에서 각각  $-26.5\sim-22.0\%$ ,  $7.2\sim9.6\%$  범위를 보이지만, KK(경안천) 지역에서는  $-29.0\%$ ,  $14.8\%$ 로 뚜렷하게 다른 값을 가진다. 8월경에 규조류 식물플랑크톤의 탄소 및 질소 안정동위원소비는 P2(팔당댐 앞), P4(한강물환경연구소 앞), MHJ(묵현천 합류부), SB(삼봉천), SBJ(삼봉천 합류부), SC(송천하수처리장 방류구), SJ(서종대교), CP(청평댐) 정점에서 각각  $-21.5\sim-30.0\%$ ,  $7.4\sim9.1\%$  범위를 보이지만, KK(경안천) 지역에서는  $-30.4\%$ ,  $14.8\%$ 로 상대적으로 무거운 값을 가진다. 이는 경안천 지역에 서식하는 규조류가 다른 연구지역과는 다른 질소원을 체내에 흡수하여 광합성을 통한 1차 생산을 하고 있음을 나타내고 있다. 6월경 연구지역에서 서식하는 남조류 식물플랑크톤의 탄소 및 질소 안정동위원소비는 P2(팔당댐 앞), P4(한강물환경연구소 앞), MHJ(묵현천 합류부), SB(삼봉천), SBJ(삼봉천 합류부), SC(송천하수처리장 방류구), SJ(서종대교), CP(청평댐) 정점에서 각각  $-21.9\sim-27.2\%$ ,  $7.0\sim10.1\%$  범위를 보이지만, KK(경안천) 지역에서는  $-24.9\%$ ,  $13.9\%$ 로 상대적으로 무거운 값을 보인다. 8월경에 남조류 식물플



**Fig. 3.** The variation of nitrogen isotope values both Diatom and Cyanobacteria phytoplankton in study sites during June and August 2016. The study sites were P2 (Lake Paldang), P4 (Front of Hanriver water environment research center), MHJ (Junction of Mukhyun stream), SB (Sambong stream), SBJ (Junction of Sambong stream), SC (Discharge point of Songchon sewage treatment plant), SJ (Sejong bridge), CP(Cheongpyeong dam) and KK (Gyeongan stream).

랑크톤의 탄소 및 질소 안정동위원소비는 P2(팔당댐 앞), P4(한강물환경연구소 앞), MHJ(목현천 합류부), SB(삼봉천), SBJ(삼봉천 합류부), SC(송천하수처리장 방류구), SJ(서종대교), CP(청평댐) 정점에서 각각 -25.0~-29.7‰, 5.6~9.8‰ 범위를 보이지만, KK(경안천) 지역에서는 -32.6‰, 14.1‰로 뚜렷한 차이를 보이고 있다. Kim *et al.* (2013)은 경안천 지역이 다른 팔당호 지류(남한강, 북한강 등)에 비하여 체류시간이 짧고 점오염원이 많아서 부영양화가 빈번하게 발생하고, 여름철 강우로 인하여 외부기원 유기물의 유입이 발생하였음을 입자성 유기물의 안정동위원소비를 이용하여 설명하였다. Shin *et al.* (2000)은 경안천 지역은 북한강과 남한강의 다른 하천에 비해 오염수준이 가장 높으며, 점 오염원으로부터 유입되는 무기염양염

등으로 인해 식물플랑크톤의 폭발적인 성장을 유도한다고 보고하고 있다. 경안천은 주거생활환경 뿐만 아니라 농경과 축산을 주종으로 하는 농가들이 밀집되어 있으며, 생활하수 및 오수를 처리하는 수환경 사업소들이 위치하고 있다. 본 연구시기에 경안천 지역이 상대적으로 무거운 질소 안정동위원소비를 보이고 있으며, 이러한 결과는 식물플랑크톤이나 주변 육지식물이 사용하는 무기질소원이 이들에게서 기인함을 간접적으로 나타내고 있지만 이를 확인하기 위해서는 직접적으로 영향을 주는 질소원(하수처리장 방류수, 농경지 토양, 유역 주민거주지 하수, 축산농가의 폐수 등)의 추가적인 분석이 이루어져야 할 것으로 판단된다. 본 연구 결과를 통해 암모니아성 질소 및 질산성 질소의 질소 안정동위원소 비는 유입원을 추정하는 데 유용한

방법으로 사용될 수 있음을 확인하였다.

## 적 요

본 연구는 암모니아성 질소 및 질산성 질소의 안정동위원소 분석방법을 적용하여, 호소 내 식물플랑크톤 성장에 영향을 미치는 외부 오염원의 기원을 추정함으로써, 효율적인 수질 관리 및 수생태계 기능해석 지원기능을 제공하기 위하여 연구하였다. 남한강, 북한강, 팔당호 지역에 비해서 경안천 지역의 유기물 기원이 뚜렷하게 차이를 보이며, 외부기원 유기물이 높은 영향을 미치는 것으로 여겨진다. 또한 식물플랑크톤(규조류, 남조류)이 자생기원 보다는 외부기원 질소원을 활용하고 있음을 확인하였다. 한강 유역에서 암모니아성 질소 및 질산성 질소의 안정동위원소비를 이용한 유기물 기원 연구는 적용가능 할 것으로 여겨지며, 식물플랑크톤의 탄소 및 질소 동위원소비를 활용하여 그 거동을 추정할 수 있었다. 추후 유역 오염원의 대표값(end member)의 지속적인 조사를 통하여 자료구축이 이루어져야 할 것이다.

## 사 사

본 연구과제는 국립환경과학원 연구사업 R&D 예산으로 수행하였습니다.

## REFERENCES

- Choi, W.J., G.H. Han., H.M. Ro., S.H. Yoo and S.M. Lee. 2002. Evaluation of nitrate contamination sources of unconfined groundwater in the North Han River basin of Korea using nitrogen isotope ratios. *Geosciences Journal* **6**: 47-55.
- Choi, Y.J., J.W. Jung., W.J. Choi., K.S. Yoon., D.H. Choi., S.S. Lim., J.H. Jeong., B.J. Lim and N.M. Chang. 2011. Estimation of pollution sources of Oenam watershed in Juam lake using nitrogen concentration and isotope analysis. *Journal of Korean Society on Water Quality* **27**: 467-474.
- 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. 1988. Food web structure on Georges Bank from stable C, N, and S isotopic compositions. *Limnology and Oceanography* **33**: 1182-1190.
- Gal, J.K., M.S. Kim, Y.J. Lee, J.W. Seo and K.H. Shin. 2012. Foodweb of aquatic ecosystem within the Tamjinriver-through the determination of carbon and nitrogen stable-isotope ratio. *Korean Journal of Ecology and Environment* **45**(2): 242-251.
- Hargrave, W.J. 1991. Water Fit to Drink. BCWWA Seminar, Burnaby, B.C., 1991, February 25-26.
- Holmes, R.M., J.W. McClelland, D.M. Sigman, B. Fry and B.J. Peterson. 1998. Measuring  $^{15}\text{N-NH}_4^+$  in marine, estuarine and fresh waters: An adaptation of the ammonia diffusion method for samples with low ammonium concentrations. *Marine Chemistry* **60**: 235-243.
- Kellman, L.M and C. Hillaire-Marcel. 2003. Evaluation of nitrogen isotopes as indicators of nitrate contamination sources in an agricultural watershed. *Agriculture Ecosystem and Environment* **95**: 87-102.
- 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 Ecology and Environment* **40**(1): 93-102.
- Kim, M.S., J.Y. Hwang, B.K. Kim, H.S. Cho, S.J. Youn, S.Y. Hong, W.S. Lee, O.S. Kwon and J.M. Kim. 2014. Determination of the origin of particulate organic matter at the lake Paldang using stable isotope ratios. *Korean Journal of Ecology and Environment* **47**(2): 127-134.
- Kim, M.S., T.J. Park, S.H. Yoon, B.R. Lim, K.H. Shin, O.S. Kwon and W.S. Lee. 2015. Introduction of Kjeldahl Digestion method for nitrogen stable isotope analysis and case study for tracing nitrogen source. *Korean Journal of Ecology and Environment* **48**(3): 147-152.
- Kim, M.S., W.S. Lee, K.S. Kumar, K.H. Shin, W. Robarge, M.S. Kim and S.R. Lee. 2016. Effects of HCl pretreatment, drying and storage on the stable isotope ratios of soil and sediment samples. *Rapid Communication Mass Spectrometry* **30**: 1567-1575.
- 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.
- Kohl, D.H., G.B. Shearer and B. Commoner. 1971. Fertilizer nitrogen: Contribution to nitrate in surface water in a corn belt watershed. *Science* **74**: 1331-1334.
- Kong, D.S. 1993. Ecological study of Paldandlake. 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 origin 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., S.G. Hong, M.S. Kim, D.H. Kim, B.H. Choi, J. Hur,

- J.S. Khim and K.H. Shin. 2014. Identification of sources and seasonal variability of organic matter in Lake Sihwa and surrounding inland creeks, South Korea. *Chemosphere* **177**: 109-119.
- Martin, D.F. and M.H. Gonzalez. 1978. Effects of salinity on synthesis of DNA, acidic polysaccharide, and growth in the blue-green alga *Gomphosphaeria aponina*. *Water Research* **12**: 951-955.
- Min, J.H., S.T. Yun, K. Kim, H.S. Kim and D.J. Kim. 2003. Geologic controls on the chemical behaviour of nitrate in riverside alluvial aquifers Korea. *Hydrological Processes* **30**: 1197-1211.
- Oren, O., Y. Yechieli, J.K. Bohlke and A. Dody 2004. Contamination of groundwater under cultivated fields in an arid environment, Central Arava Valley, Israel. *Journal of Hydrology* **290**(3/4): 312-328.
- Paerl, H.W., R.S. Fulton 3rd, P.H. Moisaner and J. Dyble. 2001. Harmful freshwater algal blooms, with an emphasis on cyanobacteria. *Scientific World Journal* **1**: 76-113.
- 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 Ecology and Environment* **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 Ecology and Environment* **36**(3): 242-256.
- Sigman, D.M., M.A. Altabet, R. Michener, D.C. McCorkle, B. Fry and R.M. Holmes. 1997. Natural abundance-level measurement of the nitrogen isotopic composition of oceanic nitrate: an adaptation of the ammonia diffusion method. *Marine Chemistry* **57**: 227-242.
- Sinonen, K. and G. Jones. 1999. Cyanobacterialtoxins. pp. 41-111. *In: Toxic Cyanobacteria in Water* (Chorus, I. and J. Bartram, eds.). WHO, Geneva.
- Smith S.J., J.S. Schepers and L.K. Porter. 1990. Assessing and managing agricultural nitrogen losses to the environment. *Advance in Soil Science* **14**: 1-43.
- Suikkanen, S., H. Kaartokallio, S. Hällfors, M. Huttunen and M. Laamanen. 2010. Life cycle strategies of bloom-forming, filamentous cyanobacteria in the Baltic Sea. *Deep-Sea Research II* **57**: 199-209.
- Van Apeldoorn, M.E., H.P. van Egmond, G.J.A. Speijers and G.J.I. Bakker. 2007. Toxins of cyanobacteria. *Molecular Nutrition & Food Research* **51**: 7-60
- Watson, S.B. 2004. Aquatic taste and odor: a primary signal of drinking-water integrity. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A* **67**: 1779-1795.
- Watson, S.B., M. Charlton, Y.R. Rao, T. Howell, J. Ridal, B. Brownlee, C. Marvin and S. Millard. 2007. Off flavours in large waterbodies: physics, chemistry and biology in synchrony. *Water Science and Technology* **55**: 1-8.