

연구논문

질소와 산소 안정동위원소비를 이용한 북한강수계 오염원 분포 특성 규명

유지수^{1,2} · 김윤석^{1†}

¹한국수자원공사 수질안전처
²국립환경과학원 측정분석센터

Identification of Distribution of Nitrogen Pollutants Based on Nitrogen and Oxygen Stable Isotope Ratio in Nitrate from Water in North Hangang River, Korea

Jisu Yoo^{1,2} and Yun S. Kim^{1†}

¹Department of Water Quality Safety and Research, K-water, Shintanjinro 200 Daeduck, Daejeon, 34350, Korea

²Environmental Measurement and Analysis Center, National Institute of Environmental Research, Incheon, 22689, Republic of Korea

Received November 28, 2021 / Revised December 31, 2021 / Accepted January 3, 2022

To identify the origin of major pollutants, we determined the distribution of stable isotopes of $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{18}\text{O}$ in nitrate extracted from water samples and sediments collected at two-month intervals during 2019-2020 from the North Hangang River, Korea. Stable isotope ratios were measured to investigate nitrogen contamination sources in the water system. This study determined that the North Hangang River was affected by soil organic matter, livestock manure, and domestic sewage, and that the streams and rivers flowing into the main stream of the North Hangang River were affected by domestic sewage or livestock manure, resulting in relatively heavy nitrogen isotope ratios. Generally, the concentration of nitrate nitrogen was higher in the inflowing streams (Geumsan, Hongcheon, Mukhyeon, and Gyeongan district) than at the main stream. Nitrogen pollution due to chemical fertilizers and soil organic matter were different in 2019 and 2020, and the ratio of stable nitrogen isotopes decreased owing to the influence of rainfall. Sediment in the North Hangang River has been affected by agricultural soil organic matter and livestock manure, showing the necessity to nitrogen pollutant management, particularly with pollutants such as soil organic matter and livestock manure.

Key words: Stable isotope ratio, Nitrogen, Oxygen, Nitrate nitrogen, Water, Sediment

1. 서 론

환경추적자로서 안정동위원소를 이용하는 연구는 물질의 기원 판별에 대한 과학적 추적 분석 능력과 관련하여 지구과학, 생지화학, 생태학, 환경과학을 중심으로 활발하게 발전되어 왔다.¹⁾ 안정동위원소는 자연 중에 존재하는 가장 기초원소인 탄소, 질소 그리고 산소가 가지고 있는 서로 다른 질량의 차이를 이용하여 각 질량비를 측정함으로써 어떤 생태계의 변화를 반영하고 있는지 확인할 수 있는 측정기술의 하나이다. 현재 전 세계적으로 수많은 연구가 진행되고 있으며, 자연의 DNA 분석법으로 알려져 과학수사에도 적용되고 있다.²⁾ 각 원소들이 가지고

있는 질량비는 원소들이 놓여 있는 그 환경의 영향을 반영하여 변하게 되는 원리를 이용한다. 원소들은 환경 중에 오염원별 각 질량비가 서로 다르게 존재하게 되고, 이는 그 환경의 실태를 알려주는 중요한 근거로 활용되고 있다.³⁾ 국내외 연구에서 안정동위원소비 분석으로 토지 이용별 오염원(농경지, 산림, 축사, 주거지), 유출수(농경지 및 산림 유출수), 농업자재(화학비료, 퇴비), 축산분뇨 및 사료 등의 수질오염 경로 추적에 활발히 활용되고 있다. 그러나 현재 국내에서의 수질관리는 주로 화학분석법을 적용하여 오염원 관리를 하기 때문에, 다양한 경로를 통해 유입되는 오염물질에 대한 추적 및 효율적인 관리가 어렵다는 한계가 있다. 수중 질산성 질소의 질소와 산

[†]To whom correspondence should be addressed.

소 안정동위원소 분석을 통한 오염원의 추적이 복잡한 상호작용을 하는 자연환경에서의 유기오염원 구분 및 기여 정도 산정에 매우 유리하게 작용할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 질산성 질소의 질소($\delta^{15}\text{N}$), 산소($\delta^{18}\text{O}$) 안정동위원소를 이용하여 주요 오염물질의 기원을 규명하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 이온류

이온(F^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-})은 먹는물수질공정시험기준 (ES 05357.1c)에 따라 분석하였으며, 채취한 물 시료는 0.2 μm 여과지로 고체미립자를 제거한 후 산처리 없이 분

석 전까지 냉장보관 하였다. 분석기기는 음이온 교환 컬럼을 통과시켜 각 음이온들을 분리한 후 전기전도도 검출기로 측정하는 이온크로마토그래피(IC; metrohm 850)로 분석하였다.

2.2. 전처리 및 안정동위원소 분석

2019년 7월부터 2020년 9월까지 약 1년간 북한강수계의 수질 및 퇴적토 시료를 대상으로 질산성질소의 질소와 산소 안정동위원소를 분석하였다. 조사 지점은 북한강수계의 의암구역 10지점, 청평구역 5지점, 상봉구역 9지점 및 팔당구역 8지점으로 총 32지점이며(Fig. 1), 주요 점오염원인 하수처리시설 방류수도 포함하여 조사하였다.

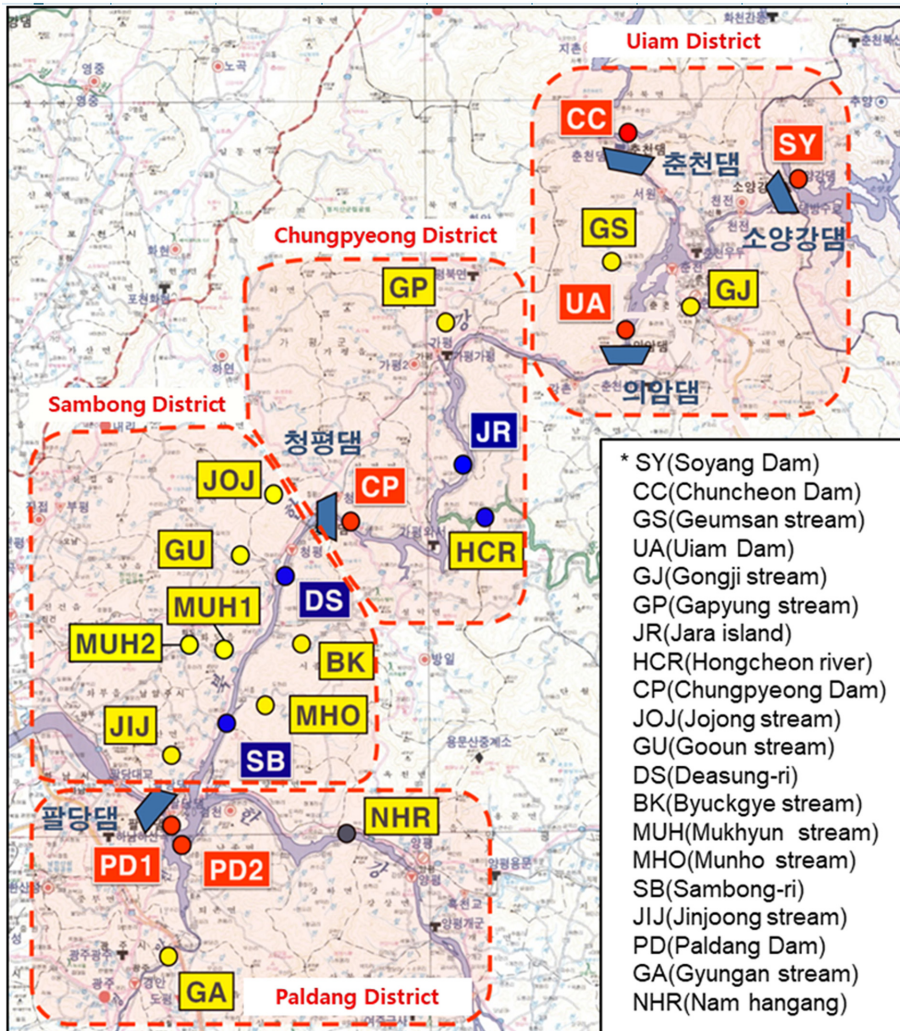


Fig. 1. Sampling locations of study area in the North Hangang River.

2.2.1 수질 시료 전처리

안정동위원소 분석을 위해 사용된 미생물은 *Pseudomonas chlororaphis*(ATCC[®]13985 TM)이며, 동결 보관된 균체를 대상으로 배양 과정을 거친 후 배양기에서 26°C 조건으로 약 일주일간 배양한다. 원심분리 튜브에 배양용액 약 40 mL씩 분할하여 주입하고 40분간 3,000 rpm 조건에서 원심분리한다. 원심 분리된 용기에서 균체만 취한 뒤 약 2.3 mL씩 분취하여 20 mL 바이알(vial)에 각각 주입한다. 이후 밀봉된 바이알의 내부 질소가스를 제거하기 위해 헬륨가스를 50 mL/min의 속도로 약 3시간 동안 주입하여 혐기환경이 조성된 용기에 시료를 주입한다. 미생물이 시료 내 질산을 이용한 탈질반응이 충분히 진행되게 한 뒤 분석 시 발생할 수 있는 동일질량수의 간섭을 제거하기 위해 10N NaOH를 0.1 mL 주입하여 미생물의 추가적인 반응을 중단시켰다⁴⁾.

2.2.2 퇴적토 시료 전처리

채취한 퇴적토를 동결 건조 시킨 뒤 각각 0.5 g씩 취하고, 20 mL 3차 증류수와 혼합한다. 그리고 90°C로 중탕시켜 30분 동안 추출한다. 추출 후 냉각하여 4500 rpm으로 10분간 원심분리한 뒤 상층액을 0.2 µm 필터로 여과하고, 여과된 액으로 안정동위원소를 분석하였다⁵⁾.

2.2.3 질소 및 산소 안정동위원소비 분석

안정동위원소 분석은 안정동위원소 질량분석기(SIRMS; Stable Isotope Ratio Mass Spectrometer, Thermo Fisher Scientific Inc. Delta V PLUS)를 이용하여 질소 및 산소 동위원소 비를 측정하였다. 탈질 미생물에 의해 생성되는 아산화질소를 분리 및 정제하기 위하여 미량가스 농축기를 사용하였다. 로드 모드(Load mode)에서는 각각의 용기로부터 가스를 포집하여 H₂O와 CO₂ 트랩을 통과시킨다. 이후 60°C의 모세관 컬럼을 1 mL/min의 속도로 통과하며, 이 과정에서 순수한 아산화질소만 안정동위원소 질량분석기로 주입된다. 동위원소비는 천분율(‰)로 나타내고 델타표시법(δ)을 적용한다.

$$\delta^{15}N_{sample} = \left[\frac{(^{15}N/^{14}N)_{sample}}{(^{15}N/^{14}N)_{reference}} - 1 \right] \times 1,000$$

$$\delta^{18}O_{sample} = \left[\frac{(^{18}O/^{16}O)_{sample}}{(^{18}O/^{16}O)_{reference}} - 1 \right] \times 1,000$$

이때, ¹⁵N/¹⁴N는 대기 중 질소, ¹⁸O/¹⁶O는 Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW)에 의해 보정된 값을 사용하였다. 분석된 동위원소 결과값의 보정 작업은 일반적으로 많이 사용되는 correction factor 법을 사용하였다^{6,7)}.

Table 1. Standard values for nitrogen and oxygen isotopes

Reference materials	$\delta^{15}N_{AIR}$ (‰)	$\delta^{18}O_{VSMOW}$ (‰)
Standard value	USGS-34	-1.8 ± 0.1
	USGS-35	2.7 ± 0.1
	USGS-32	180 ± 1
Measured value (K-water)	USGS-34	-1.7 ± 0.1
	USGS-35	2.8 ± 0.1
	USGS-32	180 ± 1.5

분석의 신뢰도를 높이기 위해 표준물질 USGS-32, USGS-34, USGS-35(Potassium Nitrate, U.S. Geological Survey)를 이용하여 측정값을 보정하였다. 사용된 표준물질 USGS-32, USGS-34, USGS-35의 권고 값은 Table 1과 같으며, 5 mg/L로 제조된 표준물질과 분석대상 시료를 동시 측정된 결과, 모두 권고 값 범위 내로 측정되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 지점별 질산성 질소(NO₃-N) 농도 분석 결과

질산성 질소는 먹는물 수질기준에서 10 mg/L 이하로 규정하고 있으며, 농업용수 수질환경기준은 20 mg/L 이하로 규정하고 있다. 그러나 질산성 질소는 외부기원 질소원 유입으로 인한 농도 증가로 식수로서 수질오염 문제를 야기하거나, 부영양화를 유발하여 수생태계에 악영향을 미친다. 또한, 질산성 질소는 농약 및 비료, 축산폐수, 공장폐수, 생활하수 등 다양한 오염원에서 강우 유출 시 수환경으로 유입될 수 있다.

2019년 7월부터 2020년 9월까지 질산성 질소 농도를 분석한 결과, 의암구역의 금산천 지점(평균 7.7 mg/L, 최대 23.5 mg/L), 청평구역의 홍천강 지점(평균 3.3 mg/L, 최대 10.2 mg/L), 삼봉구역의 묵현천(1) (평균 5.4 mg/L, 최대 9.7 mg/L), 묵현천(2) 지점(평균 8.5 mg/L, 23.9 mg/L) 그리고 팔당구역의 경안천 지점(평균 4.1 mg/L, 최대 14.6 mg/L)이 상대적으로 높은 농도를 나타내었다. 전체 조사구역에서 대체로 본류 지점보다는 하천 및 지류 지점에서 질산성 질소 농도가 높은 경향을 보였으며, 명확한 오염원 추적을 위하여 질산성 질소 내 질소와 산소 안정동위원소 분석을 수행하였다.

3.2. 질소와 산소 안정동위원소비(δ¹⁵N, δ¹⁸O)의 상관관계

3.2.1. 조사구역에 따른 수질 내 질소와 산소 안정동위원소 비 변화

일반적으로 화학비료의 δ¹⁵N 값은 -8~5‰ 사이의 낮은 값을 나타내며, 유기물질의 자연 산화에 의해 형성된

토양 질산염은 대기 중 질소로부터 직접 합성되기 때문에 3~6‰ 범위의 값을 나타낸다. 또한, 생활하수 및 축산분뇨는 탈질 산화 과정을 거치기 때문에 상대적으로 무거운 8~16‰ 범위의 값을 나타낸다.⁸⁻¹⁰⁾ 각 오염원의 질소 동위원소 값이 서로 유사한 경우가 있어 이러한 문제점을 보완하고 명확한 오염원을 구별하기 위하여, 최근 질소와 산소 안정동위원소를 이중으로 사용하는 기법이 대두되고 있다.¹¹⁻¹⁴⁾ 기존 연구에 의해 $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{18}\text{O}$ 의 안정동위원소 값을 조합하여 도시한 질소 오염원의 안정동위원소비 범위는 Kendall (1988)에 의해 정의되었으며¹¹⁾, 본 연구의 $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{18}\text{O}$ 안정동위원소비 결과를 중첩시켜 오염물질에 대한 기원을 해석하고자 하였다.

의암구역 수질의 경우, 대부분 지점의 질소와 산소 안정동위원소 비가 토양 유기물, 생활하수 및 축산분뇨 영향 범위에서 나타났다. 춘천하수처리장 방류수는 '20년 7월과 9월에 15.8‰, 24.6‰로 상대적으로 무거운 $\delta^{15}\text{N}$ 값을 나타내었지만, 댐 본류로 방류되어 희석된 후 춘천하수처리장 방류수 앞 지점의 $\delta^{15}\text{N}$ 값이 5.9‰, 11.4‰로 가벼워진 것으로 판단되어 대체로 하수처리장 방류수가 영향을 주는 것으로 보인다. 또한 유입 지천인 금산천과 공지천의 $\delta^{15}\text{N}$ 값이 다른 지점에 비해 상대적으로 무겁게 나타나 축산분뇨의 영향을 받는 것으로 판단된다(Fig. 2). 금산천은 본류 인근(상류) 서면하수처리장 방류수 영향을 받으며, 공지천 또한 인근(상류) 춘천하수처리장의 방류수 영향을 직접적으로 받는 것으로 유추된다.

청평구역 수질의 경우 가평천, 자라섬, 청평댐앞과 청평댐 방류수 지점은 대부분 토양 유기물에 기인한 것으로 보이며, 유사한 범위 내에 결과값이 분포하여 가평천 지점에서부터 청평댐 방류수까지 같은 오염원의 영향으

로 판단된다. 특히 유입지류인 홍천강은 더 무거운 질소 안정동위원소 비를 나타내어, 주로 생활하수 또는 축산분뇨에 영향을 받은 것으로 판단된다(Fig. 3). 그러나 홍천강 유입 이후 청평댐 앞과 청평댐 방류수 지점의 결과 값에 큰 변동이 없어 댐 본류 수질에는 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

삼봉구역 수질의 경우, 본류인 삼봉리와 대성리 지점을 제외한 대부분의 유입 지천에서 더 무거운 $\delta^{15}\text{N}$ 값을 나타내었다. 삼봉리 지점은 대성리 지점보다 더 무거운 $\delta^{15}\text{N}$ 값을 나타내었으며, 벽계천, 묵현천에서 유입되는 생활하수 및 축산분뇨 등이 영향을 주는 것으로 판단된다(Fig. 4).

조종천 지점은 상류에 소, 돼지 등 가축사육시설 다수 분포하여 축산계 오염부하량이 높고, 산업폐수 발생량이 가장 많은 지역이며, 하류에는 하수처리장이 위치하여, 생활하수 및 축산폐수가 주요 오염원으로 판단된다. 구운천 지점 또한 주변에 하수처리장 방류수 영향이 나타난 것으로 보인다. 묵현천(1)(하수처리장 하류) 지점은 $\delta^{15}\text{N}$ 값이 8.5~9.7‰, $\delta^{18}\text{O}$ 값이 -3.8‰~-2.1‰로 분석되어 다른 지점과는 구분되어 나타났다. 묵현천(1)은 직상류 화도하수처리장 방류수의 영향으로 유추되며, 이는 하수처리장 방류수의 $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{18}\text{O}$ 값이 각각 13.6‰, -2.2‰로 보고된 것을 참고하여 하수처리장 방류수의 영향으로 판단된다.

팔당구역 수질의 경우, 팔당댐앞, 소내섬과 남한강 지점의 결과 값이 유사한 범위 내에서 나타났으며, 토양유기물을 비롯한 생활하수, 축산분뇨의 복합적인 영향으로 유추된다(Fig. 5). 특히 경안천의 경우 $\delta^{15}\text{N}$ 값이 상대적으로 높게 나타나 직상류 하수처리장 방류수의 영향을 받는 것으로 유추되며, 경안천은 농경과 축산을 주종으로 하는 농기들이 밀집하여 질소 오염원 유입에 큰 영향을 주

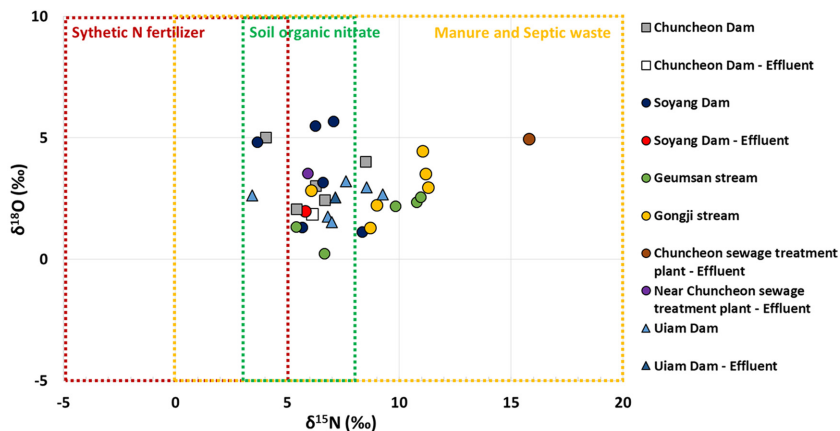


Fig. 2. The $\delta^{15}\text{N}$ (‰) and $\delta^{18}\text{O}$ (‰) values of NO_3^- in water samples from Uiam district.

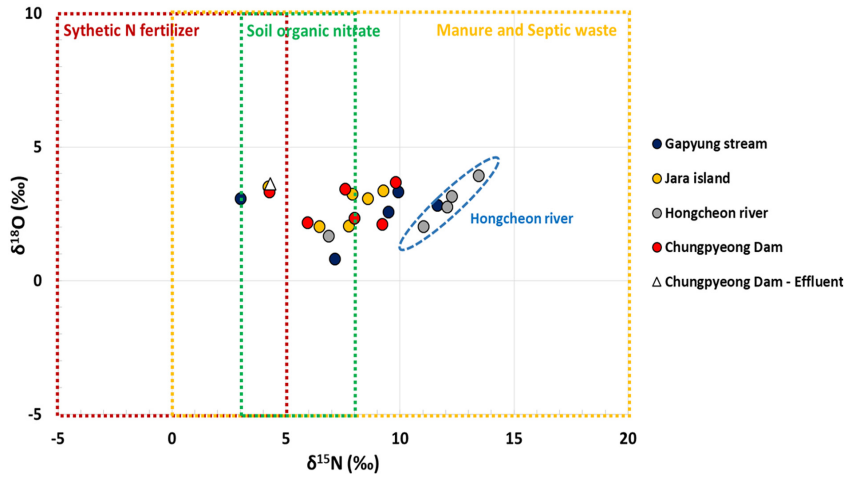


Fig. 3. The $\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$ and $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$ values of NO_3^- in water samples from Cheong-Pyeong district.

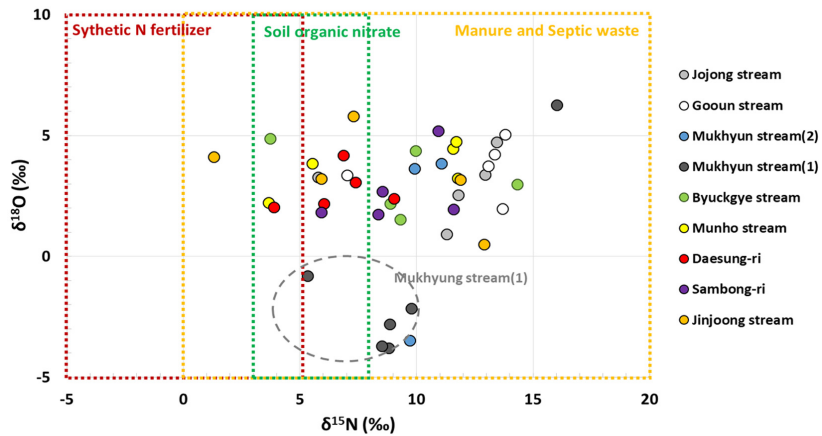


Fig. 4. The $\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$ and $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$ values of NO_3^- in water samples from Sambong district.

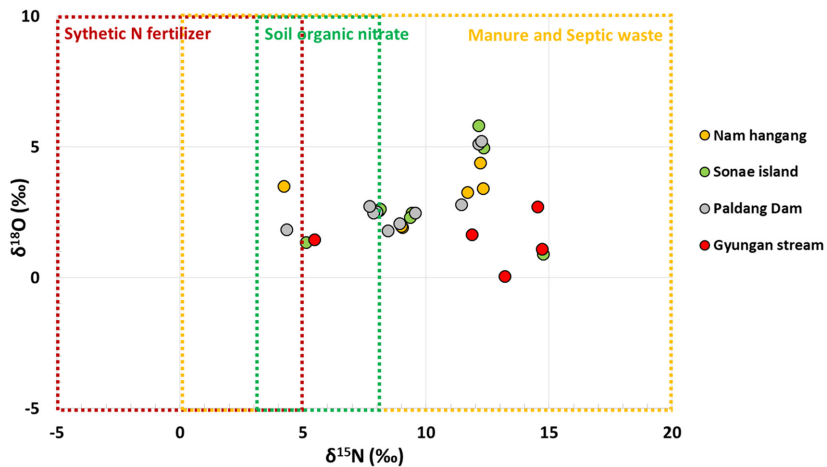


Fig. 5. The $\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$ and $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$ values of NO_3^- in water samples from Paldang district.

는 것으로 판단된다.¹⁵⁾

3.2.2. 조사시기에 따른 수질 안정동위원소 비 변화

2019년과 2020년 $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{18}\text{O}$ 안정동위원소비를 비교한 결과, 2020년에 질소 안정동위원소 비가 더 낮아지는 경향을 나타내었으며(Fig. 6), 이는 2020년에 발생한 비교적 큰 강우 등의 영향으로 토양 유기물이 유입된 것으로 판단된다. 기존 연구에 따르면 강우로 인해 토양유기물 등의 질산염이 용해되어 하천수로 유입되면 질소 안정동위원소 비가 낮아질 수 있다.⁴⁾

3.2.3. 북한강수계 퇴적토 안정동위원소비 변화

북한강수계 퇴적토의 $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{18}\text{O}$ 안정동위원소비를 분

석한 결과, 조사 지점 및 계절 변화와 관계없이 대체로 유사한 범위 내에서 나타났다(Fig. 7). K-water에서 실시한 환경부 용역과제 「공공수역 유기물 분석 평가기법 개선 연구('19-'20)」의 오염원 분석 결과와 비교하였을 때, 북한강수계의 퇴적토는 전반적으로 농경지 토양 유기물과 우분, 사료와 같은 축산계 영향을 받은 것으로 판단된다.

최근 보고된 자료에 따르면, 북한강수계 퇴적토의 오염도 평가 결과에서 춘천댐, 소양강댐, 화천댐, 청평댐, 의암댐 등에서 유기물질 및 금속 오염이 보고된 바 있다¹⁶⁾. 더욱 명확한 퇴적토 오염원 파악을 위해서는 주변 지역의 우분, 논 및 밭 토양 등 다양한 오염원 시료의 채취 및 비교분석이 필요하다고 판단된다.

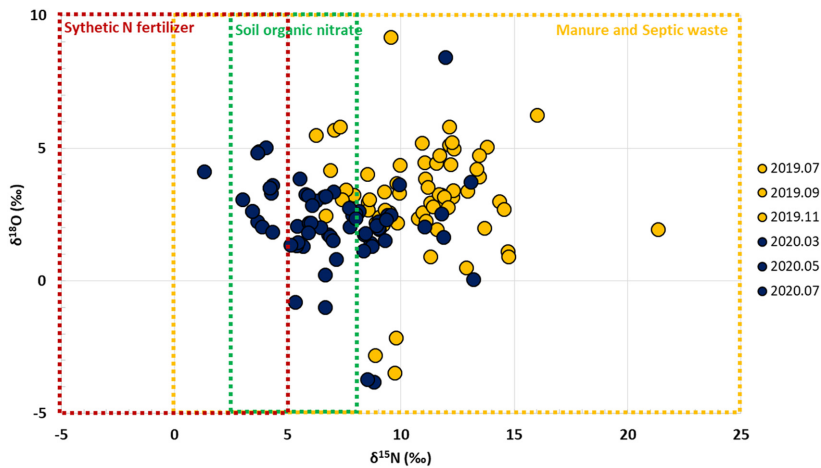


Fig. 6. Changes of nitrate isotope($\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{18}\text{O}$) ratios in North Hangang river.

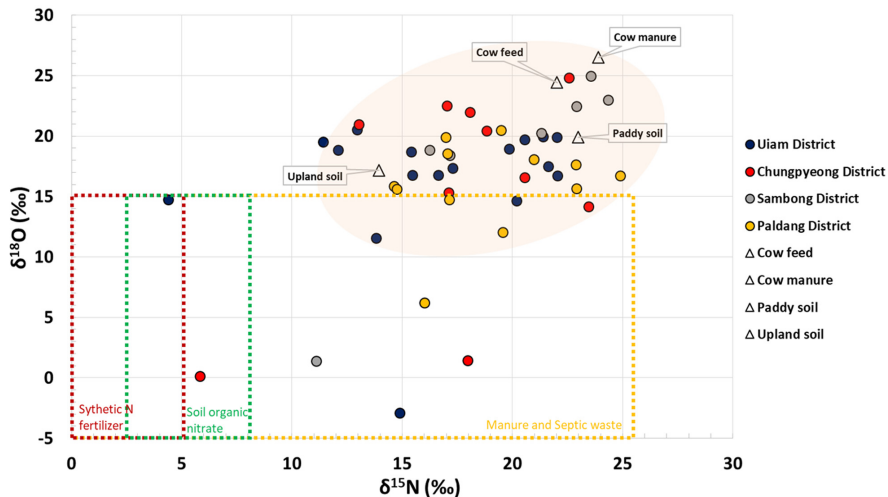


Fig. 7. The nitrate isotope($\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{18}\text{O}$) ratios of sediment in North Hangang river.

4. 결 론

본 조사에서 북한강수계는 토양유기물, 가축분뇨, 생활하수 영향을 받는 것으로 나타났으며, 북한강 본류로 유입되는 지천 강은 주로 생활하수 또는 가축분뇨 영향을 받아 비교적 무거운 질소 안정동위원소비가 나타난 것으로 추정된다. 조사지역의 질산성 질소를 분석한 결과, 대체로 본류 지점보다는 유입 지천 강(금산천, 홍천강, 묵현천, 경안천)에서 질산성 질소 농도가 더 높은 경향을 보였다. 2019년에 비해 2020년에는 화학비료, 토양유기물에 기인한 질소 오염원의 영향을 받은 것으로 분석되며, 이는 강우의 영향을 받아 질소 안정동위원소 비가 낮아진 것으로 추정된다. 북한강수계의 퇴적토는 농경지 토양 유기물과 축산분뇨의 영향을 받은 것으로 보이며, 토양 유기물, 축산분뇨와 같은 질소 오염원 관리가 필요하다고 판단된다. 특히 본 연구에서 활용한 질산성 질소의 질소, 산소 안정동위원소비는 추후 공공수역으로 유입되는 다매체 질소 오염원을 규명하고, 관리 방안 마련 시 매우 유용할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구에 있어서 시료 채수 및 채취, 그리고 연구에 필요한 배경자료 제공 등 한국수자원공사 한강유역관리처의 지원으로 원활히 수행되었기에 진심으로 감사드립니다.

참고문헌

1. R. P. Philp. "The emergence of stable isotopes in environmental and forensic geochemistry studies: a review". *Environ Chem Lett.* **2007**, 5, 57-66.
2. M. P. V. Matos and G. P. Jackson. "Isotope ratio mass spectrometry in forensic science applications". *Forensic Chem.* **2019**, 13, 100-154.
3. J. I. Kang, J. Kim, and S. D. Lee. "Studies on stream ecosystem in the Bukhan River using stable isotopes". *Journal of Wetlands Research*, **2011**, 13, 515-522.
4. H. Kim, J. Kim, S. Lee, J. Choi and Y. S. Kim. "Identification of pollutants sources of water supply using nitrogen($\delta^{15}\text{N}$) and oxygen($\delta^{18}\text{O}$) stable isotope ratio in nitrate". *Journal of Environmental Analysis, Health and Toxicology*, 2019, 22, 145-153.
5. S. M. Steingruber, J. Friedrich, R. Cachter, and B. Wehrl, Measurement of Denitrification in Sediments with the ^{15}N isotope pairing technique, *Applied and Environmental Microbiology*, **2001**, 67(9), 3771-3778.
6. L. Rock and B. H. Ellert, "Nitrogen-15 and oxygen-18 natural abundance of potassium chloride extractable soil nitrate using the denitrifier method", *Soil Science Society of America Journal*, **2010**, 71, 355-361.
7. D. Xue, B. D. Baets, J. Botte, J. Vermeulen, O. V. Cleemput, and P. Boeckx, "Comparison of the silver nitrate and bacterial denitrification methods for the determination of nitrogen and oxygen isotope ratios of nitrate in surface water", *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, **2010**, 24, 833-840.
8. B. Deusch, M. Mewes, I. Liskow, and M. Voss. "Quantification of diffuse nitrate inputs into a small river system using stable isotopes of oxygen and nitrogen in nitrate". *Organic Geochemistry*, **2006**, 37, 1333-1342.
9. G. T. Chae, S. T. Yun, B. Mayer, B. Y. Choi, K. H. Kim, J. S. Kwon, and S. Y. Yu. "Hydrochemical and stable isotopic assessment of nitrate contamination in an alluvial aquifer underneath a riverside agricultural field". *Agricultural Water Management*, **2009**, 96, 1819-1827.
10. C. French, L. Rock, K. Nolan, J. Tobin, and A. Morrissey. "The potential for a suit of isotope and chemical markers to differentiate sources of nitrate contamination: A review". *Water Research*, **2012**, 46, 2023-2041.
11. C. Kendall and J. J. McDonnell, 1998. "Tracing sources and cycling of nitrate in catchments" **1988**. 519-576, *Isotope Tracers in Catchment Hydrology*.
12. S. R. Silva, P. B. Ging, R. W. Lee, J. C. Ebbert, A. J. Tesoriero, and E. L. Inkpen, "Forensic Applications of Nitrogen and Oxygen Isotopes of Nitrate in an Urban Environment", *Environmental Forensics*, **2002**, 3, 125-130.
13. N. Payet, E. Nicolini, K. Rogers, H. S. Macary, and M. Vauclin. "Evidence of soil pollution by nitrates derived from pig effluent using ^{18}O and ^{15}N isotope analyses". *Agronomy for Sustainable Development*, **2010**, 30, 743-751.
14. D. Marconi, M. A. Weigand, P. A. Rafter, M. R. McIlvin, M. Forbes, K. L. Casciotti, and D. M. Sigman. *Mar. Chem.* **2015**, 177, 143-156.
15. M. Kim, J. Kim, J. Hwang, B. Kim, H. Cho, S. J. Youn, S. Hong, O. Kwon and W. Lee. "Determination of the origin of particulate organic matter at the lake Paldang using stable isotope ratios", *Korean J. Ecology and Environment*, **2014**, 47(2), 127-134.
16. B. Lee, K. Seong, G. Kim, G. Moon, M. Shin, J. Hong, K. Kim, S. Yu, I. Huh, H. Noh. "Pollution assessment of sediment in lakes of Buk-han river basin". *Journal of Korean Society on Water Environment*, **2019**, 35(2), 105-114.