

안정 동위원소비를 이용한 농촌하천유역 질산성 질소의 오염원 추정

Identification of the Sources of Nitrate using Stable Isotope Mass Ratio in Rural Watersheds

홍 영 진* · 권 순 국** · 홍 성 구***
Hong, Young Jin · Kwun, Soon Kuk · Hong, Seong Gu

Abstract

Pollution sources and their environmental contributions were investigated to select the best management practices for the effective control of water quality. The nitrogen isotope mass ratio was determined to estimate the nitrate sources and their contribution.

Sampling sites were chosen by calculating effluent loads at each watershed. Two liters each of the surface water samples were collected from four sites at Bokha river and two sites at Gwanri river. They were sequentially prepared through distillation method and analyzed using an isotope ratio mass spectrometer(IsoPrime EA).

As revealed by the experimental values obtained, the mass ratio values($\delta^{15}\text{N}$) of watersheds with a large amount of nonpoint sources were less than +5‰, an indication that the samples were influenced by chemical fertilizers. However, watersheds with large amount of point sources were influenced not only by chemical fertilizers but also by animal and municipal wastes.

The mass ratio values of samples generally decreased during rainy days. But, during dry days, the mass ratio values well-reflected the nitrate sources and the condition of watersheds.

Through this study, the nitrogen isotope mass ratio has been found to be useful for estimating nitrate sources and their contribution to the rural watersheds.

I. 서 론

우리나라는 1990년대 들어 영농법과 토지이용 형태의 변화, 도시화, 축산업의 확대 등으로 이전

보다 광대한 농촌지역에서 생활하수, 축산분뇨, 화학비료, 농약 등의 유출이 증가되고 있으며, 이들의 무분별한 방류와 유출은 점점 수계의 환경용량을 초과하여 수중 생태계와 인간의 친수공간을 위

* 서울대학교 대학원

** 서울대학교 농업생명과학대학

*** 환경대학교 농업생명과학부

키워드 : 질산성 질소, 기원, 기여도, 화학비료, 축산분뇨, 질소 안정동위원소비

협하고 있다.

따라서, 농촌유역의 수환경을 개선하기 위해서는 유역의 오염원관리와 적절한 수질개선대책의 수립이 시급하며, 이를 위해서는 수질현황 파악을 위한 유역 모니터링과 주요 오염원 규명을 통한 관리방안이 제시되어야 한다.

질소 동위원소비를 이용한 연구는 Kohl (1971) 등에 의해 처음으로 시도되었으며, 최근에는 국내에서도 류 (1999) 등에 의해 지하수내 질산성 질소의 기원 규명에 관한 연구가 시도된바 있으며, 토지이용현황과의 관계를 고찰한 바 있다.^{8),6)}

각 오염원의 기원과 기여도는 오염원의 배출부하량을 통해 산정할 수 있지만, 이는 단순히 오염원 배출지점에 대한 기여도이며, 목표지점의 기여도는 다른 값으로 변동될 가능성이 있다. 동위원소를 이용한 방법은 수질관련 하천특성과 오염원의 지리적 분포를 반영할 수 있는 방법으로서 더 합리적인 오염원 기원을 규명할 수 있는 방법이라 생각된다.

본 연구의 목적은 유역의 목표지점 (유역 출구) 표면수 내에 포함되어 있는 질산성 질소의 질소 동위원소비를 분석하여 질산성 질소의 기원을 규명하고, 각 오염원(점원, 비점원)과 오염물질(화학비료, 축산분뇨 및 가정하수)의 기여도를 해석하는데 있다.

II. 재료 및 실험방법

1. 대상유역의 선정

본 연구의 대상유역은 경기도 이천시, 용인시, 광주군의 4개 면, 19개 리를 포함하는 북하천 상류유역으로서 본천 연장이 17km이고, 유역면적은 78.73km²이다. 하천연변에 농경지가 집중되어있고 유역전반에 축산농가가 산재해 있으며, 대규모 공장 및 상업지역, 도시화 지역이 없는 전형적인 농촌유역이다.³⁾

시료채취를 위한 측정지점은 각 소유역별로 배출되는 전질소 (T-N)의 오염원별 부하량을 바탕

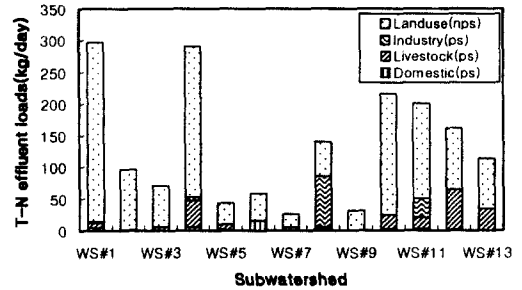


Fig. 1 T-N effluent loads according to source and sub-watershed

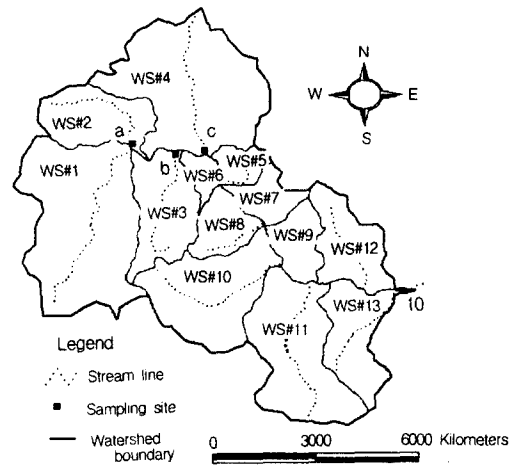


Fig. 2 Location map of Bokha watershed

으로 선정하였다. 선정된 측정점은 비점원이 상대적으로 지배적인 소유역 WS#2의 말단부 a, 점원이 증가된 소유역 WS#4의 c, 그리고 중간적인 성격을 가진 WS#3의 b로 하였으며, 마지막으로 북하천 유역 전체에 대한 추정을 위해 유역의 말단인 본류 10번 지점을 선정하였다(Fig. 1, Fig. 2 참조).

또한, 소하천을 유하하는 동안 오염물질의 유입으로 인하여 발생하는 질량비의 변화는 c지점 유역인 WS#4, 즉 관리천 유역의 GR#3 소유역을 통과하는 소하천의 입구와 출구인 G2, G3 지점에서 조사하였다(Fig. 3 참조).

G2 지점은 비점오염계가 점오염계 보다 많고, G3 지점에서는 축산계 부하가 상대적으로 높음을 알 수 있다(Table 1 참조).

Table 1 T-N effluent loads of various sources by Gwanri river subwatersheds (unit : g/day)

| Sub-watershed | T-N | | | | |
|---------------|----------|----------|-----------|---------------|-------------------|
| | Domestic | Industry | Livestock | Point sources | Non-point sources |
| GR #1~2, (G2) | 2,647 | 198 | 29,942 | 32,787 | 33,780 |
| GR #1~3, (G3) | 3,964 | 198 | 62,189 | 66,351 | 49,3634 |

2. 질소 동위원소비 분석

하천수는 질산성질소의 농도가 비교적 낮으므로 농축을 위해 충분한 양의 시료를 채수하여야 하고, 질소의 유출과 동위원소 분할을 방지하기 위해 적절히 보관하고 신속하게 분석하여야 한다.

질량분석기의 안정적 측정을 위해서는 질소의 중량이 0.5mg 이상이 되어야 하므로 농도에 따라 시료를 적당량 (500mL) 취한 후 숄퍼민산(Sulfamic acid)으로 가열 분해하여 아질산성질소를 제거한 후, NaOH나 MgO로 pH를 상승, 증류하여 압모늄 유출액을 제거하였다. 증류플라스크에 Devarda's alloy를 첨가하여 질산성질소를 암모니아로 환원 증류하여 황산 흡수용액에 포집한 후, Infra Red 램프를 이용하여 분석에 적합한 조건이 되도록 시료를 농축한다. Dumas method에 따라, 시료를 고체 상이 될 때까지 pH(3정도)를 유지하면서 농축한 후, 이 파우더 상의 시료를 원소분석기가 설치되어 있는 질량분석기를 이용하여 질소가스를 발생시키고 최종적으로 질량비를 측정하였다.

질소의 동위원소 질량비(δ)는 세계적으로 규정된 표준시료에 대한 분석시료의 동위원소비를 천분율의 편차로 나타낸 것이며,⁵⁾ 아래 식 (1)과 같다.

$$\delta \text{ }^{15}\text{N}(\text{‰}) = \frac{(\text{}^{15}\text{N}/\text{}^{14}\text{N})_{\text{sample}} - (\text{}^{15}\text{N}/\text{}^{14}\text{N})_{\text{standard}}}{(\text{}^{15}\text{N}/\text{}^{14}\text{N})_{\text{standard}}} \times 1000 \dots\dots\dots (1)$$

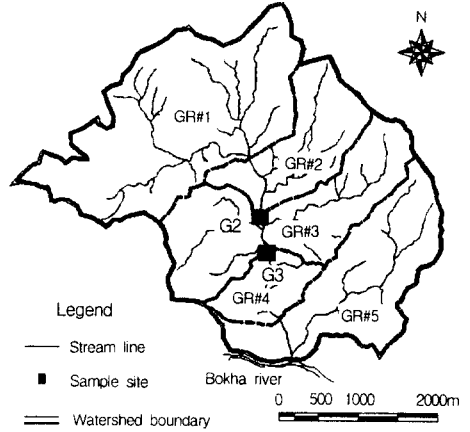


Fig. 3 Location map of Gwan-ri watershed

이들 안정동위원소는 질량차에 의한 물리적 특성에 의해 발생하는 동위원소 분할에 의해 그 존재량이 변화한다. 여기에는 평형분할(isotope exchange), 반응속도론적 분할(kinetic process), 물리적 분할(physical fractionation)이 있으며, 한 화합물 내 특정물질의 질량비는 그 물질의 기원과 생성환경에 따라 각각 특유한 값을 갖게 된다.

III. 결과 및 고찰

1. 자연상태의 질산성 질소 농도

목표지점에 도달한 질산성 질소의 기원과 기여도를 추정하기 위해서는, 오염원의 영향이 거의 없다고 생각되는 청정한 자연상태에서의 질산성 질소 농도를 설정하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 점오염원이 거의 존재하지 않고, 토지이용 상태도 전체 면적에 임야가 76.7%를 차지하여 농경지의 면적이 상대적으로 낮은 북하천 유역 WS#2 유역에 대한 비관개기(1월~4월, 10월~12월) 질산성 질소의 평균농도 1.5mg/L를 자연부하 수준의 질산성 질소의 농도로 가정하였다.

2. 기원물질의 질량비

질산성 질소의 오염원을 추정하기 위한 오염원

Table 4 Nitrate sources of each site

| Site | Date (y/m/d) | $\delta^{15}\text{N}$ (‰) | $\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/L) | Estimated source | Site | Date (y/m/d) | $\delta^{15}\text{N}$ (‰) | $\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/L) | Estimated source |
|----------|--------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------|----------|--------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------|
| a | 99/12/23 | +3.56 | 2.59 | Chemical fertilizer | 10 | 99/12/23 | +4.76 | 3.09 | Chemical fertilizer |
| | 00/ 3/24 | +3.88 | 0.19 | None | | 00/ 3/24 | +7.27 | 2.39 | Uncertain |
| | 00/ 5/ 9 | +5.66 | 2.00 | Uncertain | | 00/ 5/ 9 | +4.21 | 1.55 | Chemical fertilizer |
| | 00/ 5/27 | +1.46 | 1.83 | Chemical fertilizer | | 00/ 5/27 | +8.97 | 1.61 | Uncertain |
| | 00/ 7/ 6 | +4.47 | 1.11 | None | | 00/ 7/ 6 | -2.61 | 1.20 | None |
| | 00/ 7/23 | -1.96 | 3.24 | Chemical fertilizer | | 00/ 7/23 | +0.91 | 5.29 | Chemical fertilizer |
| | 00/ 8/10 | +2.61 | 2.60 | Chemical fertilizer | | 00/ 8/10 | +7.59 | 2.51 | Uncertain |
| | 00/ 8/25 | +2.28 | 4.30 | Chemical fertilizer | | 00/ 8/25 | +4.89 | 4.94 | Chemical fertilizer |
| | 00/ 9/27 | +3.64 | 1.98 | Chemical fertilizer | | 00/ 9/27 | +6.83 | 4.79 | Uncertain |
| b | 99/12/23 | +4.54 | 2.68 | Chemical fertilizer | G2 | 00/ 5/ 9 | +3.41 | 1.89 | Chemical fertilizer |
| | 00/ 3/24 | +4.70 | 1.58 | Chemical fertilizer | | 00/ 5/27 | +3.44 | 3.37 | Chemical fertilizer |
| | 00/ 5/27 | +1.67 | 2.64 | Chemical fertilizer | | 00/ 7/ 6 | +2.47 | 2.93 | Chemical fertilizer |
| | 00/ 7/ 6 | +6.38 | 2.24 | Uncertain | | 00/ 7/23 | +1.45 | 4.95 | Chemical fertilizer |
| | 00/ 7/23 | -1.44 | 3.01 | Chemical fertilizer | | 00/ 8/10 | +3.82 | 3.49 | Chemical fertilizer |
| | 00/ 8/10 | +4.35 | 2.92 | Chemical fertilizer | | 00/ 8/25 | +3.01 | 3.14 | Chemical fertilizer |
| | 00/ 8/25 | +5.43 | 7.70 | Uncertain | | 00/ 9/27 | +4.38 | 11.14 | Chemical fertilizer |
| | 00/ 9/27 | +4.64 | 3.52 | Chemical fertilizer | | | | | |
| | c | 99/12/23 | +5.28 | 3.31 | | Uncertain | G3 | 00/ 5/ 9 | +6.97 |
| 00/ 3/24 | | +5.66 | 1.92 | Uncertain | 00/ 5/27 | +1.34 | | 2.93 | Chemical fertilizer |
| 00/ 5/27 | | +5.63 | 3.23 | Uncertain | 00/ 7/ 6 | +2.51 | | 2.51 | Chemical fertilizer |
| 00/ 7/ 6 | | +6.32 | 1.38 | None(Natural soil) | 00/ 7/23 | +2.27 | | 4.24 | Chemical fertilizer |
| 00/ 7/23 | | -2.02 | 2.43 | Chemical fertilizer | 00/ 8/10 | +5.42 | | 2.18 | Uncertain |
| 00/ 8/10 | | +4.85 | 2.32 | Chemical fertilizer | 00/ 8/25 | +2.99 | | 2.90 | Chemical fertilizer |
| 00/ 8/25 | | +4.95 | 6.32 | Chemical fertilizer | 00/ 9/27 | +8.10 | | 3.45 | Uncertain |
| 00/ 9/27 | | +7.24 | 3.20 | Uncertain | | | | | |

Table 2 The values of $\delta^{15}\text{N}$ for various nitrate sources in Korea

| Sources | $\delta^{15}\text{N}$ | Range of $\delta^{15}\text{N}$ | Reference |
|--------------------------|-----------------------|---|-------------------|
| Ammonium sulfate | -5.0‰ | Fertilizer : Below +5.0‰ Wastes : Above +10.0‰ | Han (2000) |
| Urea | -16.5‰ | | |
| Urea+urease | -1.74‰ | | |
| Animal wastes | +15.0‰ | | |
| Septic tank | +24.1‰ | Fertilizer : Below +5.0‰ Wastes : Above +10.0‰ Natural soil : +5.0‰ ~ +10.0‰ | Yoo et al. (1999) |
| Urea | +1.4‰ | | |
| Ammonium sulfate | -2.7‰ | | |
| Natural soil | +5.5‰ | | |
| Septic tank of livestock | +27.2‰ | | |

또는 오염물질별 질량비의 값은 Table 2에 나타난 바와 같다.

화학비료는 +5‰ 이하, 축산 분뇨와 생활하수는 +10‰ 이상이며 자연 토양의 경우 +5‰ 이상 +10‰ 이하인 것으로 나타났다.^{41,6)} 본 연구에서도 7회에 걸쳐 각 지점 유역에 있는 시비된 논의 표면수를 채취해 분석해 본 결과, -6.63~+3.19‰의 값을 보였으며, 측정된 질량비 값은 Table 3과 같다.

이처럼 각 오염원에 따라 질량비의 차가 생기는 것은 주로 논의 가수분해 과정에서 생성된 암모니아가 일정 pH조건에서 가벼운 동위원소의 휘발이 먼저 이루어지게 되는 동위원소 평형분할과정에 의한 것이다.

Table 3 $\delta^{15}\text{N}$ of the surface water at paddy (unit : ‰)

| Date | WS#2 | WS#3 | WS#4 |
|---------|-------|-------|-------|
| 00/5/9 | +3.19 | - | +2.62 |
| 00/5/27 | -6.24 | -6.63 | -6.16 |
| 00/8/25 | -4.70 | -2.84 | - |

3. 질산성 질소의 기원과 기여도

시료는 1999년 12월 23일 부터 2000년 9월 27일 까지 복하천 소유역 말단과 전체 유역 출구에서 총 9회에 걸쳐 채취하였으며, 관리천 유역의 G2, G3 지점에 대해서는 2000년 5월 9일부터 시료를 채취하여 2000년 9월 27일까지 총 7회에 걸쳐 시료를 분석하였다.

시료채취시 4월 이전까지는 유역전반에 걸쳐 가뭄이 심한 상태였고, 경작활동은 시작되지 않은 상태였으며, 가뭄으로 인해 하도 내 유량은 적고 수질도 매우 청정한 상태였다.

5월 9일 시료는 이앙 초기로서 유역 내 이앙이 진행 중이었고, 이앙 이후, 5월 27일 시료는 약간의 강우(27.5 mm)로 인하여 유출이 발생, 상류 소유역에 유량이 다소 증가하였다. 하지만, 유역 전반에 걸쳐 많은 유출을 발생시킬 수 있을 만큼의 강우는 아니였으며, 지속되던 가뭄으로 인해 물관리가 철저하여, 예년과는 다르게 이 시기 는 으로부터의 질산성질소 유출부하는 그리 높지 않을 것으로 예상되었다.

7월 23일과 8월 25일에는 각각 241 mm, 87 mm의 강우가 있었으며, 유량이 많이 증가하였고, 9월 27일부터는 전 유역에서 추수가 시작되었다.

가. 지점별 질산성 질소의 기원과 기여도 추정

질량비를 바탕으로 한 질산성 질소 오염원은 Table 4에 제시된 바와 같이 추정할 수 있다.

기여도는 배출된 물질의 종류에 따라서 추정하였으며, 화학비료의 경우는 농경지 등의 비점오염원, 축산분뇨와 생활하수는 점오염원에서 배출되는 것으로 보았다.

하천 내에서 발생할 수 있는 동위원소 분할을 확인하기 위해 pH를 측정하였으며, 그 결과 하천 내에서 암모니아 휘발에 의한 동위원소 분할은 없는 것으로 판단되었다.

분석 결과를 보면, 각 유역의 질량비 값이 -2.61 ~ +8.97‰로 다양하게 나타났으며, 하천의 상황은 질산성질소 농도가 강우 시를 제외하고는 그리

높지 않은 편이어서 비교적 청정한 하천임을 알 수 있었다.

추정기간 중 a, b, G2 지점 질산성질소의 기원은 대부분 화학비료에 의한 것이어서 농경지 등의 비점원의 영향이 큰 것으로 나타났으며, 축산계 등의 점원 배출부하가 상대적으로 많이 존재하는 c, 10, G3지점에서는 화학비료뿐만 아니라 축산분뇨와 생활하수도 영향을 미치고 있다고 추정할 수 있다.

a, b, c지점에 대한 Paired T-Test 결과 a와 b, a와 c 지점은 T값(3.879, 4.918)이 자유도 7, 유의수준 1%에서의 값 3.499보다 커 고도의 표본 평균간 차이가 있는 것으로 나타났으며, b와 c지점은 T값(1.712)이 자유도 7, 유의수준 5%에서의 값 2.365보다도 작아 평균간 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 a지점과 b, c지점은 유역의 배출 특성 차를 확인할 수 있었으며, 점오염원이 존재하는 b, c 지점에서의 통계적 차이는 발생하지 않음을 알 수 있었다.

Table 4에서 오염원의 기원이 확실하지 않은, 즉 오염원에 의한 영향을 복합적으로 받는 시료에 대하여 각 오염원의 기여도를 산정해 보았다.^{4),7),12)} 화학비료와 가축분뇨 두가지에 의해서만 질량비가 결정된다는 가정 하에 식(2)에 의해 오염원이 혼합된 목표지점에서의 기여도를 산출해보면 Table 5와 같다.

$$\% N_{ddf} = \frac{(\delta^{15} N_m - \delta^{15} N_{sample})}{(\delta^{15} N_m - \delta^{15} N_f)} \times 100 \times 1000 \dots\dots\dots (2)$$

$\%N_{ddf}$: 화학비료에 의한 질소 %
 $\delta^{15}N_m$: 가축분뇨, 가정하수의 $\delta^{15}N$
 $\delta^{15}N_f$: 화학비료의 $\delta^{15}N$
 $\delta^{15}N_{sample}$: 시료의 $\delta^{15}N$

각 오염원의 영향이 중첩된 시료는 점오염원이 상대적으로 많은 c, 10, G3지점에서 많이 나타났으며, 가축분뇨나 생활하수의 점원 기여도는 5.6 ~ 79.4%의 범위를 나타냈다.

복합적인 영향을 받은 시료의 경우에도 전반적

Table 5 Contribution of each nitrate source

| Site | Date (y/m/d) | Contribution each source (%) | |
|------|-----------------|---------------------------------|--|
| | | Fertilizer (Nonpoint source) | Animal or municipal wastes (Point source) |
| a | 00/ 5/ 9 | 86.8 | 13.2 |
| b | 00/ 7/ 6 | 72.4 | 27.6 |
| | 00/ 8/25 | 91.4 | 8.6 |
| c | 99/12/23 | 94.4 | 5.6 |
| | 00/ 3/24 | 86.8 | 13.2 |
| | 00/ 5/27 | 87.4 | 12.6 |
| | 00/ 9/27 | 55.2 | 44.8 |
| | 00/ 3/24 | 54.6 | 45.4 |
| 10 | 00/ 5/27 | 20.6 | 79.4 |
| | 00/ 8/10 | 48.2 | 51.8 |
| | 00/ 9/27 | 63.4 | 36.6 |
| | 00/ 5/ 9 | 60.6 | 39.4 |
| G3 | 00/ 8/10 | 91.6 | 8.4 |
| | 00/ 9/27 | 38.0 | 62.0 |

으로 화학비료에 의한 영향이 높은 것을 볼 수 있으며, 동일지점에서 시기별로 값의 변화가 다양하여 기원과 기여도가 시기별로 다양하게 변화하는 것을 볼 수 있었다. 10지점 5월 27일 시료의 높은 점원 기여는 측정지점 인근에 위치한 축산농가에서 일시적인 분뇨의 유입이 있었기 때문으로 생각된다.

나. 시기별 질량비와 질산성 질소 농도의 변화

복하천 a, b, c, 10지점에 대한 시기별 질량비 값과 질산성 질소 농도를 Fig. 4에 도시하였다.

전반적으로 전 지점에서 4월 이전까지는 질산성 질소의 농도가 낮게 나타났으며, 시비기에도 지속적인 물관리와 강우량 저조로 예년과 같은 농도상승은 볼 수 없었다. 강우가 있었던 5월 27일, 7월 23일, 8월 25일에는 질산성 질소의 농도가 직전 시료 채취일에 비해 약간 높아졌으며, 소유역 말단인 a, b, c 지점에서의 질산성 질소 농도추이는 지점간 매우 유사한 경향을 나타내었다.

질량비는 a와 b지점의 경우 이양 이후 강우가 있었던 5월 27일에 값이 하강하는 것을 볼 수 있어 화학비료에 의한 영향이 있었다고 판단할 수 있다. c와 10지점에서는 점오염원에 의한 영향과

논에서의 유출 저조로 값이 상승하는 것을 볼 수 있었다. 또한 c와 10지점은 가뭄이 심했던 4월 이전에도 점오염원에 의한 영향을 많이 받고 있음을 알 수 있었다.

7월 23일과 8월 25일에는 전 지점에서 질산성 질소 농도는 증가하고 질량비는 감소하는 현상을 보였는데, 이는 강우량이 증가하여 유출이 증가했고 채수시점이 유출후기였기 때문에 농경지 등의 비점오염원의 영향을 많이 받은 것으로 사료된다. 이렇게 같은 강우시에도 배출특성에 차이가 나는 것은 강우에 의한 유출여부, 유역내 점오염원의 존재 여부 그리고 채수시점에 차이가 있기 때문이라 생각된다.

평상시에는 질량비가 유역의 특성을 잘 반영하여 비점오염원이 많은 a지점은 5%이하의 범위를 가지고 있었으며, b, c지점에서는 상대적으로 높았다. 10지점 역시 인근 축산농가의 영향으로 7월 6일을 제외하면 대체로 높게 나타나고, 질산성 질소의 농도도 증가하였다.

관리천 지점 역시 강우시에 질산성 질소의 농도가 평상시에 비해 증가했으며, 두 지점 모두 화학비료에 의한 비점오염원의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 그러나 G3 지점은 상대적으로 높은 질량비 값을 보이고 있다.

다. 오염물질의 유입과 동위원소비의 변화

하천을 유하하는 동안 오염물질의 유입에 의해 발생하는 질량비의 변화를 알아보았으며, 그 중 일부를 Fig. 6, Fig. 7에 나타내었다.

전반적으로 Paired T-Test 결과($1.387 < t_{(0.05,6)} = 2.447$) 두 지점간 표본평균의 차이가 없어 각 지점간의 특성 차는 통계적으로 존재하지 않았다.

측정횟수의 부족으로 검증은 할 수 없으나, 질량비는 평상시의 경우, GR#3 유역에서 많은 점원 부하가 유입되어 질량비가 상승하는 경향을 보였고, 강우 시에는 경지 유출이 증가하여 질량비가 점차 낮아진다고 생각할 수 있다.

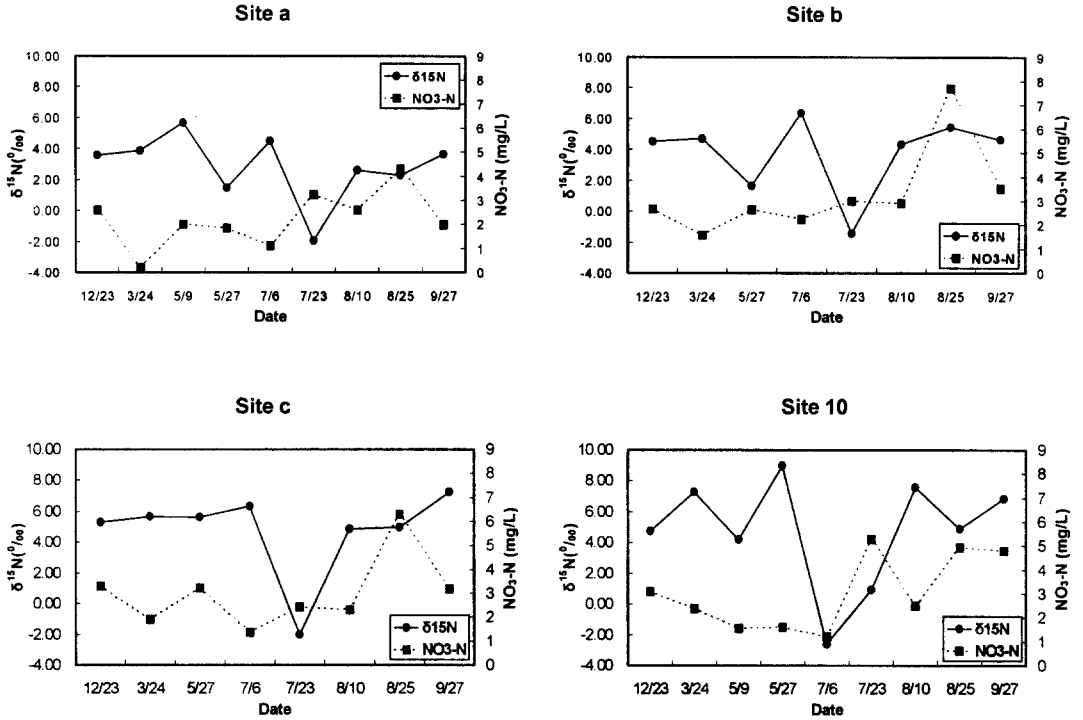


Fig. 4 Changes in nitrate concentration and $\delta^{15}\text{N}$ by date (site a, b, c and 10)

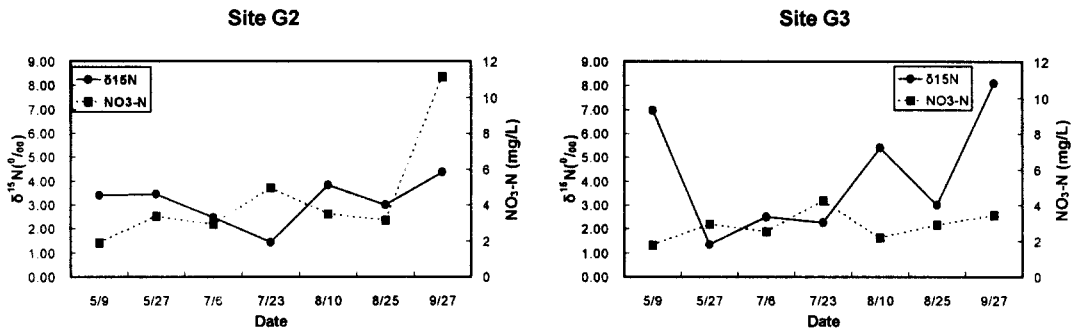


Fig. 5 Changes in nitrate concentration and $\delta^{15}\text{N}$ by date (site G2 and G3)

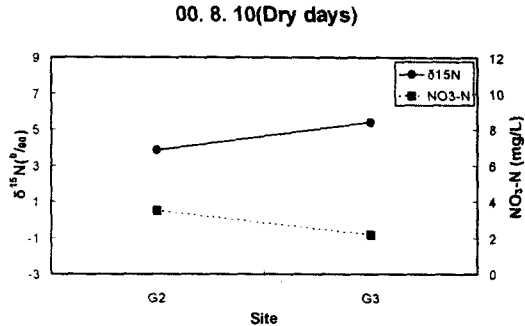


Fig. 6 Changes in nitrate concentration and $\delta^{15}\text{N}$ b/w G2 and G3 (dry days)

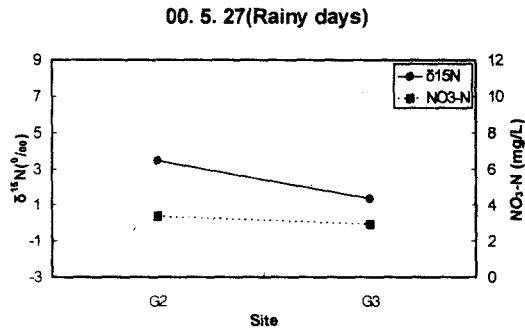


Fig. 7 Changes in nitrate concentration and $\delta^{15}\text{N}$ b/w G2 and G3 (rainy days)

IV. 결 론

농촌유역의 하천수질 관리방안을 모색하는데 필요한 기초자료를 제공하기 위하여 하천수중에 다수 존재하는 질산성 질소 내 질소의 동위원소 질량비를 분석하여, 그의 기원을 규명하고, 화학비료(비점원), 축산분뇨 및 생활하수(점원)의 기여도를 추정하였다. 본 연구의 결과는 아래와 같이 요약할 수 있다.

1. 시료의 질량비($\delta^{15}\text{N}$) 값은 $-2.61 \sim +8.97\%$ 로 다양한 값을 나타냈으며, 농도가 대체로 낮아 정확한 하천임을 알 수 있었다.

2. 질산성 질소의 기원 추정을 위한 자연부하 상태에서의 질산성 질소 농도를 1.5 mg/L로 가정

하였으며, 비점오염원이 지배적인 소유역에서의 질산성 질소 기원은 화학비료로 나타났으며, 점원 부하가 지배적인 곳에서는 화학비료뿐만 아니라 축산분뇨와 생활하수가 중첩된 영향을 준다고 판단할 수 있다.

3. 각 오염원의 영향이 중첩된 경우 오염원별 기여도를 평가한 결과, 가축분뇨나 생활하수 등의 점원 기여도는 5.6~79.4%의 범위를 나타냈으나, 대체로 화학비료에 의한 영향이 상대적으로 지배적인 것을 볼 수 있었다.

4. 북한천 지점의 시기별 변화를 보면 강우시에는 질산성 질소의 농도가 평상시에 비해 높아졌으며, a와 b지점은 이양 이후 강우가 있었던 5월 27일에 화학비료에 의한 영향을, c와 10지점에서는 점오염원에 의한 영향을 볼 수 있었다. 또한 c와 10지점은 가뭄이 심했던 4월 이전에도 점오염원 영향을 받았으며, 이후 강우시에는 전 지점에서 농도는 증가하고 질량비는 감소하는 현상을 보였다.

평상시 질량비는 점오염원이 많은 지점으로 갈수록 질량비 값이 상승했으며, 통계적 분석에서도 지점간에 특성차가 나타나는 것을 볼 수 있어 질량비 값이 각 유역의 특성을 잘 반영하고 있음을 알 수 있었다.

5. 관리천의 조사구간의 경우 강우시에는 비점오염원의 영향을 많이 받는 것으로 나타났고, 평상시에는 점원의 영향을 상대적으로 많이 받고 있는 것으로 나타났다.

6. 안정동위원소 질량비 분석에 의한 질산성 질소의 기원과 기여도 추정은 하천의 규모가 비교적 작은 우리나라 농촌하천유역 영양물질의 오염원 규명에 매우 유용한 방법이라 판단되며, 그 결과는 수질개선훈련의 수립과 관리방안의 선정시에 필요한 기초자료로서 활용될 수 있을 것이다.

본 연구는 농림부의 첨단농업기술개발사업 과제인 “농촌하천유역의 종합적 수질관리시스템 개발”의 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

참 고 문 헌

1. 권순국, 조강현, 심재한, 1999, 경기도내 소하천 관리를 위한 기초연구 - 관리천을 중심으로-, 경기개발연구원, pp.131.
2. 김규환, 1991, 동위원소 지질학, 민음사, pp. 329-341.
3. 김한태, 권순국, 1993, 농촌유역에서의 수질오염 특성에 관한연구, 한국환경농학회지, 12(2), pp.129-143.
4. 류순호, 최우정, 한광현, 1999, 질소 동위원소 분석을 이용한 경기도지역 지하수중 질산태질소 오염원 규명, 한국토양비료학회지, 32(1), pp.47-56.
5. 이은하, 1995, 난지도 쓰레기 매립지 내 침출수의 수소와 산소 동위원소비 분석 연구, 이화여자대학교 석사학위논문, pp.80.
6. 한광현, 2000, 지하수의 질산태질소 오염에 대한 민감도 및 오염원 평가, 서울대학교 대학원 농학박사학위논문, pp.220.
7. 朴光來, 1996, 地下水, 河川水の硝酸汚染についての窒素安定同位体自然存在比($\delta^{15}N$)法による研究, 東京農業大學, pp.162.
8. Battaglin, W. A., C. Kendall, D. A. Goolsby and L. L. Boyer, 1997, Plan of Study to Determine if the Isotopic Ratios $d^{15}N$ and $d^{18}O$ Can Reveal the Sources of Nitrate Discharged by the Mississippi River into the Gulf of Mexico, U. S. Geological Survey Open-File Report 97-230, pp.15.
9. Black, C. A., D. D. Evans, L. E. Ensminger, J. L. White and F. E. Clark, 1965, Methods of Soil Analysis, Part 2, American Society of Agronomy, pp.1256-1286.
10. Edwards, A. P., 1973, Isotopic Tracer Techniques for Identification of Sources of Nitrate Pollution, J. Environ. Quality, 2(3), pp.382-387.
11. Faure, G., 1977, Principles of Isotope Geology, John Wiley & Sons, pp.13-24.
12. Knowles, R. and T. H. Blackburn, 1992, Nitrogen Isotope Techniques, Academic Press, Inc. New York, pp.311.
13. Kreitler, C. W., 1975, Determining the Source of Nitrate in Groudwater by Nitrogen Isotope Studies, Austin, Univ. of Texas, Bureau of Economic Geology, Report of Investigations, 83, pp.1-57.
14. Kreitler, C. W. and L. A. Browning, 1983, Nitrogen-Isotope Analysis of Groudwater Nitrate in Carbonate Aquifers : Natural Sources Vs. Human Pollution, J. Hydrol., 61, pp. 285-301.