

Research Paper

## 지하수의 질산염 오염 특성

- 옥천지역 사례 연구 -

박호림\* · 김명균\*\* · 홍상표\*

청주대학교 환경공학과\*, 청주대학교 토목공학과\*\*

## Characteristics of Nitrate Contamination of Groundwater

- Case Study of Ogcheon Area -

Park, Ho-Rim\* · Myeong-Kyun Kim\*\* · Sang-Pyo Hong\*

Department of Environmental Engineering, Cheongju University\*

Department of Civil Engineering, Cheongju University\*\*

**요약 :** 본 연구에서는 충청북도 옥천군 일부지역에 분포된 지하수를 대상으로 지구화학적 특성, 수질 특성,  $\text{NO}_3^-$ 에 의한 오염 특성과 그에 따른  $\text{NO}_3^-$ 의 기원을 추정하고자 하였다. 연구지역 지하수는 약산 내지 약알칼리성의 환원환경이며, 변성퇴적암류를 구성하는 석회암과 백운암의 높은 용해도로 인해 변성퇴적암 지하수는 pH와 주요 용존 성분의 함량이 화강암 지하수 보다 높은 분포를 나타낸다. 파이퍼 다이어그램에 도시된 연구지역 지하수의 수질 유형은 대부분  $(\text{Ca}+\text{Mg})+\text{HCO}_3^-$ 형이나, 요인 분석 결과  $\text{NO}_3^-$ 와  $\text{Cl}^-$ 이 요인 1의 구성 성분으로 추출되어  $(\text{Ca}+\text{Mg})+(\text{Cl}+\text{NO}_3^-)$ 형도 상당수 분포한다. 이와 같은 결과는 연구지역이  $\text{NO}_3^-$ 와  $\text{Cl}^-$ 로 인한 오염이 우려되는 지역임을 시사하는 것으로 국내의 농촌지역 지하수 오염 특성과 동일한 결과를 나타낸다. 중금속 원소로 인한 오염의 양상은 나타나지 않고 있으며, 탄산염 광물의 지구화학적 풍화작용과 인위적 오염 성분 유입 등의 복합적인 작용이 연구지역 지하수의 지구화학적 특성과 수질 특성을 결정짓는 요인이다. 질소 동위원소 분석 결과에 의한  $\text{NO}_3^-$  기원은 주로 농업 활동과 분뇨 등이 지배적인 것으로 나타났다.

**주요어 :** 지구화학, 요인 분석, 질산염, 질소 동위 원소

**Abstract :** Geochemical characteristics, water quality,  $\text{NO}_3^-$  contamination and the origin of  $\text{NO}_3^-$  were analyzed for the groundwater located at Ogcheon, Korea. The water qualities were weakly acidic to weakly alkalic and redox potentials indicated reduction condition. Compared to granitic rocks, metamorphic sedimentary rocks with intercalations of limestones and dolomites tended to be more effectively dissolved, resulting in higher pH and higher concentrations of dissolved ingredients. Contamination of heavy metals was not revealed. Geochemical reactions of carbonate

rocks and influxes of artificial contamination ingredients seemed to simultaneously determine the geochemical characteristics and water qualities in the study area. From the results of  $\delta^{15}\text{N}$  isotope analysis, the origin of  $\text{NO}_3^-$  was estimated to be influenced dominantly by agricultural activities and human feces and urine.

Keywords : geochemistry, factor analysis,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\delta^{15}\text{N}$

## I. 서론

지하수는 기후, 토양, 분포 압력, 해수 침투, 지표수 수질 및 기타 오염원 유입 등 다양한 요인에 의해 영향을 받게 되고, 이러한 요인들에 의해 지구화학적 특성과 수질 특성이 복합적으로 나타난다. 지하수의 지구화학 및 수질 특성에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 지하수가 저장되고 유동하는 대수층을 구성하는 지질로서 이는 지하수와 암석과의 화학반응은 지하수의 지구화학적 특성과 수질 특성을 결정짓고, 물리적 특성에 의해 유동 특성이 달라진다. 따라서 대수층을 구성하는 암석과 토양의 광물학적 특성이 매우 중요한 변수로 작용한다.

국내의 경우 광역상수도 보급이 미흡한 농촌지역에서는 지하수를 활용하여 생활용수와 농업용수를 공급하고 있는 실정이다. 농촌지역 지하수의 대수층은 주로 충적층과 암반 풍화대를 대상으로 하는 천층 지하수에 속한다. 이 천층 지하수는 지표수 함양에 의해 지하수 보충은 양호하나 수질 오염에 민감하고, 인위적 활동에 의한 영향을 크게 받는다(Boulding, 1995; 김연태와 우남철, 2003).

농촌지역에서 지하수 오염 대부분은 농업 활동에 의해 크게 좌우되고, 심각한 오염을 일으키는 성분은 질산염( $\text{NO}_3^-$ )과 관계된 것으로 이는 전 세계적으로 농업지역을 중심으로 광범위하게 나타나며, 유기질 비료와 화학 비료, 가축 배설물, 생활하수, 분뇨, 토양 내 유기질소 등이 주 오염원으로 작용한다(Williamson *et al.*, 1998). 자연적인 수준에서 지하수 내 질산염은 토양에서 유래하는 경우가 극히 적고, 수계의 질산염 오염은 집약적인 토지 이용과 농업 활동에서 질소 비료 공급과 같은 인위적 활동에 의하여 환경문제로 대두되었다(Yoo *et al.*, 1999; Choi *et al.*, 2002; Min *et al.*, 2002; Choi *et al.*, 2003).

지하수가 오염되었을 경우 원상복구가 어렵고 피해 발현이 장기적으로 나타나 오염과 관련된 일정한 인과관계를 규명하는 것은 매우 곤란하다. 따라서 지하수의 지구화학적 오염 특성의 명확한 판단과 장기적 관리가 필요하며, 이를 위해 다변량 통계 분석과 지구 통계학적 분석 기법으로 다양한 변수를 이용한 현황 파악, 공간적 확산 예측(김윤종 등, 2000), 등치선도 및 각 성분의 농도 분포도 작성이 필수적이다(정상용 등, 2000a; 정상용 등 2000b).

본 연구에서는 충청북도 옥천군 일부 지역 지하수에 대해 지구화학적 특성 및 질산염 오염 특성을 중심으로 한 수질 오염 특성을 분석하고,  $\delta^{15}\text{N}$  값을 이용하여 질산염의 질소 기원을 추정하고자 하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 시료 채취

본 연구에서의 연구지역은 행정구역 상 충청북도 옥천군 군북면, 군서면, 동이면, 안남면, 안내면, 옥천읍 및 이원면 일대로 전체 면적이  $382\text{km}^2$ 이며, 2013년 기준으로 인구 52,763명, 18,420세대로 약 2.7의 세대 당 인구를 갖는 농촌지역이다(Figure 1). 분포 지질은 1: 50,000의 보은도폭(김옥준 등, 1977)과 옥천도폭(김동학 등, 1978)에 의하면 시대미상 옥천누층군 변성퇴적암류, 중생대 주라기의 주라기 화강암류, 백악기의 불국사화성암류, 신생대 제 4기 충적층으로 크게 4대분 할 수 있다.

연구지역 일대에 분포한 146개 지하수를 대상으로 Temp., pH, ORP, EC, TDS 등의 항목은 Ott사의 Quanta hydrolab model을,  $\text{NO}_3^-$ -N은 Humas사의 HS 2300 kit를 사용하여 현장 수질을 측정하였다. 또한 146개 지하수 중 지구화학적 특성 규명을 위한 화학 분석용 지하수는 80개 관정에서, 질소 기원 규명을

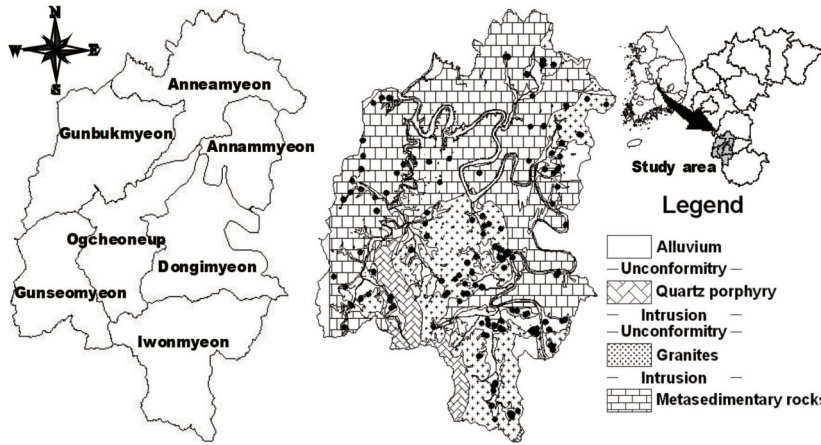


Figure 1. Showing the figure boundary map, geologic map and groundwater sample locations in the study area(scale=1:50,000).

위한  $\delta^{15}\text{N}$  분석용 지하수는 80개 관정에서 채취하였다. 지질별 지하수 시료 수는 현장 수질의 경우 변성퇴적암 지하수 51개, 화강암 지하수 95개 이고, 화학 분석용 지하수의 경우 변성퇴적암 지하수 33개, 화강암 지하수 47개,  $\delta^{15}\text{N}$  분석용 지하수의 경우 변성퇴적암 지하수 34개, 화강암 지하수 46개 이다(Figure 1).

## 2. 분석 방법

현장 수질은 수온이 일정해지는 시간까지 충분한 양수 시간을 거친 후 Temp., pH, ORP, TDS, EC 등을 채수와 동시에 즉시 측정하였다. 또한,  $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 질산염에 의한 오염 여부의 개략적인 파악을 위해 현장 수질과 함께 측정하였다.

화학 분석용 지하수에는  $0.45\mu\text{m}$ 의 질산염 셀룰로오스 막필터(Nitrocellulose Membrane Filter)를 이용하여 부유 물질을 제거한 후에 폴리에틸렌 용기에 담아 고려대학교 전략광물자원 연구센터에 분석을 의뢰하였다. 양이온 분석용 지하수의 경우 시간 경과에 따른 용기 벽면에서의 양이온 흡착, Fe 산화물 생성,  $\text{CO}_2$  유실, 유기물 산화, 미생물 번식으로  $\text{CO}_2$  생성 등에 의한 금속 원소의 손실 방지를 위해 농질산을 첨가하여 pH 2 이하로 조절하고 분석 시까지  $4^\circ\text{C}$  이하의 저온 상태를 유지하였다. 분석된 화학 성분 중 양이온은 Ca, Mg, Na, K, Si, Al, As, B, Ba, Cd, Cu, Co, Cr, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Se, Sr, Zn 등 21개 원소, 음이온은  $\text{HCO}_3$ , Cl,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{NO}_3$ , F,  $\text{NO}_2$ ,

$\text{PO}_4$ , Br 등 총 8개 원소이다.  $\delta^{15}\text{N}$  분석용 지하수는 무균 채수병으로 분석 전까지 냉동보관하고 서울대학교 농업과학공동기기센터에 의뢰하였다.

## III. 분석 결과 및 고찰

### 1. 현장 수질

총 146개 관정에서 측정된 전반적인 현장 수질 특성을 살펴볼 때 (Table 1), 수온의 분포 범위는  $9.7\sim 18.8^\circ\text{C}$  (평균:  $15.1^\circ\text{C}$ ), pH는  $5.7\sim 8.1$  (평균: 6.8)의 약산성 내지 약알칼리성이며, 국내 지하수의 생활용수와 먹는 물 수질 기준에 적합한 범위이다. 화성암과 퇴적암을 대수층으로 하는 지하수의 pH는 주로 방해석, 장석류와 관련되어 중성에서 알칼리성의 성향을 보이게 되는데(이인호 등, 1997), 연구지역의 경우 지질에 따른 pH는 변성퇴적암 지하수  $6.2\sim 8.1$  (평균: 7.1), 화강암 지하수  $5.7\sim 8.0$  (평균: 6.6)의 범위를 갖는다. 변성퇴적암 지하수에서 평균 pH가 높은 것은 석회질과 석회암에 풍부히 함유된 방해석 및 백운석을 구성하는 탄산염 광물 성분인  $\text{Ca}^{2+}$ 와  $\text{Mg}^{2+}$ 가 물 속에서의 용해도가 높기 때문이다.

산화-환원전위(ORP)는  $-68.0\sim 512.0\text{mV}$  (평균:  $15.3\text{mV}$ )의 범위로 분포한다. 지하수의 ORP는 일반적으로 심도가 깊고 상부 파쇄대 발달이 없을 경우 지표수에 의한 영향을 받지 않지만, 파쇄대 발달이 양호할 경우 지표수의 영향을 받게 되어 값의 변화가

Table 1. Field data of groundwater samples in the study area.

|                    |                    | Temp(°C) | pH  | ORP(mV) | EC( $\mu$ S/cm) | TDS(mg/L) | NO <sub>3</sub> -N(mg/L) | N <sup>a)</sup> |
|--------------------|--------------------|----------|-----|---------|-----------------|-----------|--------------------------|-----------------|
| Study area         | Max.               | 18.8     | 8.1 | 512.0   | 880.0           | 475.0     | 35.8                     | 146             |
|                    | Min.               | 9.7      | 5.7 | -68.0   | 47.9            | 28.4      | 0.1                      |                 |
|                    | Mean               | 15.1     | 6.8 | 15.3    | 416.5           | 230.9     | 10.5                     |                 |
|                    | S.D. <sup>b)</sup> | 2.1      | 0.5 | 88.1    | 143.8           | 76.8      | 8.6                      |                 |
| Ocms <sup>c)</sup> | Max.               | 17.5     | 8.1 | 512.0   | 799.0           | 475.0     | 35.0                     | 51              |
|                    | Min.               | 11.1     | 6.2 | -68.0   | 161.0           | 96.0      | 1.1                      |                 |
|                    | Mean               | 14.8     | 7.1 | 7.3     | 400.4           | 232.7     | 8.8                      |                 |
|                    | S.D.               | 1.7      | 0.4 | 127.4   | 151.0           | 87.4      | 7.9                      |                 |
| Jbgr <sup>d)</sup> | Max.               | 18.8     | 8.0 | 507.0   | 880.0           | 470.0     | 35.8                     | 95              |
|                    | Min.               | 9.7      | 5.7 | -56.0   | 47.9            | 28.4      | 0.1                      |                 |
|                    | Mean               | 15.3     | 6.6 | 19.6    | 425.1           | 230.0     | 11.3                     |                 |
|                    | S.D.               | 2.2      | 0.5 | 56.4    | 138.9           | 70.5      | 8.9                      |                 |

<sup>a)</sup>N: Number of samples, <sup>b)</sup>S.D.: Standard deviation, <sup>c)</sup>Ocms: Metasedimentary rocks, <sup>d)</sup>Jbgr: Granites.

많아진다(이인호 등, 1997). 연구지역에서는 4개의 일부 지하수에서 502~512mV의 높은 값을 보여 지표수 유입이 다소 발생했을 것으로 분석된다. 지하수의 ORP와 pH의 관계(Garrels and Christ, 1965)는 보통 -100~-200mV의 영역에 도시되는데, 연구지역의 경우 Figure 2에서 높은 ORP 값을 보이는 4개 지하수를 제외한 대부분의 지하수는 전이환경 보다 낮은 영역에 도시되고 있어 pH 증가에 따라 환원환경으로 전이되는 특성을 보인다. 따라서 pH와 ORP 값으로 미루어 볼 때, 약산성 내지 약알칼리성의 환원환경에 놓여 있을 것으로 분석된다.

현장에서 측정된 NO<sub>3</sub>-N은 0.1~35.8mg/L의 범위로서 평균 10.5mg/L의 함량을 보여 국내 먹는 물

수질 기준인 10mg/L 이상을 나타낸다. 또한 현장 수질 시료 146개 중 63개의 지하수에서 10mg/L 이상의 함량을 갖고, 21개 지하수는 생활용수 수질 기준인 20mg/L 이상의 함량을 갖는 것으로 나타나 NO<sub>3</sub>-N에 의한 오염이 우려되는 지역에 해당한다.

## 2. 지하수 지구화학 및 수질 특성

### 1) 주요 성분 지구화학

지하수를 구성하는 주요 성분은 Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 등으로 이들은 지하수 수질 평가와 분류에 있어 중요한 역할을 한다(Sadashivaiah et al, 2008). Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 등은 대수층 구성 광물의 용해도, 성분비, 거동 특성에 의해 조절되는데, Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> 등은 주로 방해석, 사장석, K-장석, Mg<sup>2+</sup>는 각섬석, 흑운모 등의 용해도 차이에 따라 용존 특성이 결정된다.

Ca<sup>2+</sup> 조성에 영향을 미치는 광물은 방해석, 백운석, 석고, 사장석, 각섬석, 휘석, 녹립석, 녹니석 등으로 방해석, 백운석, 석고 등은 조화 용해, Ca-규산염 광물은 비 조화 용해에 의한다. Table 2에서 연구지역 전체적인 Ca<sup>2+</sup> 함량은 0.08~3.27mmol/L(평균: 1.14mmol/L)의 범위에 있다. 지질에 따른 Ca<sup>2+</sup> 함량은 변성퇴적암 지하수 0.64~3.27mmol/L(평균: 1.74mmol/L), 화강암 지하수 0.08~1.87mmol/L(평

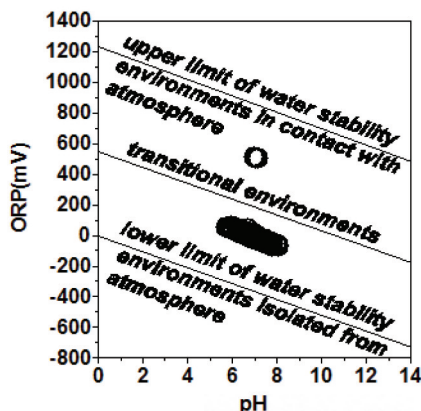


Figure 2. pH versus ORP diagram of groundwater samples.

Table 2. Mean concentrations of major components in groundwater samples(unit in mmol/L).

|                    |                    | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Cl <sup>-</sup> | SiO <sub>2</sub> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | F <sup>-</sup> | N <sup>a)</sup> |
|--------------------|--------------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|------------------------------|----------------|-----------------|
| Study area         | Max.               | 3.27             | 1.44             | 2.65            | 0.23           | 6.05                          | 0.77                          | 3.20            | 0.62             | 3.16                         | 0.12           | 80              |
|                    | Min.               | 0.08             | 0.04             | 0.10            | 0.01           | 0.05                          | 0.01                          | 0.07            | 0.10             | n.d. <sup>b)</sup>           | n.d.           |                 |
|                    | Mean               | 1.14             | 0.32             | 0.67            | 0.06           | 1.93                          | 0.22                          | 0.58            | 0.36             | 0.58                         | 0.02           |                 |
|                    | S.D. <sup>c)</sup> | 0.73             | 0.28             | 0.46            | 0.05           | 1.24                          | 0.17                          | 0.56            | 0.12             | 0.61                         | 0.03           |                 |
| Ocms <sup>d)</sup> | Max.               | 3.27             | 1.44             | 2.65            | 0.23           | 6.05                          | 0.77                          | 3.20            | 0.59             | 3.16                         | 0.06           | 33              |
|                    | Min.               | 0.64             | 0.12             | 0.14            | 0.03           | 0.45                          | 0.06                          | 0.09            | 0.14             | n.d.                         | n.d.           |                 |
|                    | Mean               | 1.74             | 0.51             | 0.74            | 0.09           | 2.86                          | 0.33                          | 0.76            | 0.29             | 0.82                         | 0.01           |                 |
|                    | S.D.               | 0.67             | 0.32             | 0.61            | 0.06           | 1.26                          | 0.18                          | 0.72            | 0.11             | 0.73                         | 0.01           |                 |
| Jbgr <sup>e)</sup> | Max.               | 1.87             | 0.56             | 2.32            | 0.07           | 3.35                          | 0.55                          | 1.88            | 0.62             | 2.29                         | 0.12           | 47              |
|                    | Min.               | 0.08             | 0.04             | 0.10            | 0.01           | 0.05                          | 0.01                          | 0.07            | 0.10             | n.d.                         | n.d.           |                 |
|                    | Mean               | 0.71             | 0.19             | 0.61            | 0.03           | 1.29                          | 0.15                          | 0.45            | 0.40             | 0.41                         | 0.02           |                 |
|                    | S.D.               | 0.40             | 0.12             | 0.32            | 0.01           | 0.69                          | 0.11                          | 0.36            | 0.11             | 0.42                         | 0.03           |                 |

<sup>a)</sup>N: Number of samples, <sup>b)</sup>n.d.: Not detected, <sup>c)</sup>S.D.: Standard deviation, <sup>d)</sup>Ocms: Metasedimentary rocks, <sup>e)</sup>Jbgr: Granites.

Table 3. Correlation matrix for the chemical components of groundwater samples.

|                               | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Cl <sup>-</sup> | SiO <sub>2</sub> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | F <sup>-</sup> |
|-------------------------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|------------------------------|----------------|
| Ca <sup>2+</sup>              |                  | **0.81           | *0.25           | **0.70         | **0.83                        | **0.70                        | **0.55          | **0.44           | **0.51                       | -0.19          |
| Mg <sup>2+</sup>              |                  |                  | **0.40          | **0.62         | **0.71                        | **0.71                        | **0.68          | *-0.28           | **0.53                       | **0.29         |
| Na <sup>+</sup>               |                  |                  |                 | 0.13           | -0.02                         | **0.55                        | **0.81          | *0.28            | **0.66                       | 0.02           |
| K <sup>+</sup>                |                  |                  |                 |                | **0.60                        | **0.52                        | **0.34          | **0.44           | **0.37                       | *-0.24         |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |                  |                  |                 |                |                               | **0.34                        | 0.18            | **0.54           | 0.03                         | -0.06          |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> |                  |                  |                 |                |                               |                               | **0.72          | -0.08            | **0.75                       | *-0.28         |
| Cl <sup>-</sup>               |                  |                  |                 |                |                               |                               |                 | 0.09             | **0.77                       | -0.18          |
| SiO <sub>2</sub>              |                  |                  |                 |                |                               |                               |                 |                  | 0.19                         | -0.05          |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  |                  |                  |                 |                |                               |                               |                 |                  |                              | **0.36         |
| F <sup>-</sup>                |                  |                  |                 |                |                               |                               |                 |                  |                              |                |

Significant level \*\*: p>0.01, \*: p>0.05.

균: 0.71mmol/L)의 범위로서 변성퇴적암 지하수에서 높은 함량을 갖는다. 이는 현장 수질의 pH 조성과 마찬가지로 탄산염 광물인 방해석과 백운석이 기타 광물보다 용해와 침전 속도가 빨라 물 속의 Ca<sup>2+</sup> 거동을 조절하는 주요 성분으로 작용한 결과(Fritz *et al.*, 1989; 이종운 등 1997)이다. 유의 수준 0.01에서 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>와 Ca<sup>2+</sup>의 상관관계수 값은 0.83으로 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>와 Mg<sup>2+</sup>의 상관관계수 값인 0.71 보다 높게 분석된 것은 백운석보다 방해석의 영향이 큰 것으로 해석된다(Table 3).

Mg<sup>2+</sup>는 연구지역에서 0.04~1.44mmol/L(평균: 0.32mmol/L)의 범위에 있으며, 변성퇴적암 지하수는 0.12~1.44mmol/L(평균: 0.51mmol/L)는 범위로, 화강암 지하수의 경우는 0.04~0.56mmol/L(평균: 0.19mmol/L)의 분포 범위를 갖는다. Mg<sup>2+</sup> 또한 변성

퇴적암 지하수에서 높은 함량은 갖는 것은 기저에 백운석을 협재하는 지질학적 특성 때문이다. 또한 Mg<sup>2+</sup>가 Ca<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>와 높은 상관성을 보일 경우 Mg-탄산염 광물인 백운석과 Mg-규산염 광물 중 각섬석, 흑운모 등의 용해에 의해 카올리나이트, 녹니석 등으로 풍화될 경우 지하수에 공급되는데(이종운 등, 1997; 이인호 등, 2002), 연구지역에서의 Mg<sup>2+</sup>는 유의 수준 0.01에서 Ca<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>와의 상관관계수가 각각 0.81, 0.71로 양호한 상관성을 나타내어 대부분 Mg 함유 광물의 지구화학적 작용에 의한 것으로 분석된다(Table 3).

Na<sup>+</sup>는 점토 광물에 쉽게 흡착되지 않아 물 속에서의 함량이 다소 높은 편인데, 연구지역 전체적인 Na<sup>+</sup> 함량은 0.10~2.65mmol/L(평균: 0.67mmol/L)의 범위에 있으며, 변성퇴적암 지하수의 경우 0.14~2.65

Table 4. Mean concentrations of trace elements in groundwater samples(unit in mg/L).

|                    | Al    | As   | Ba                 | Cd   | Co   | Cr   | Cu    | Fe    | Li    | Mn    | Ni   | Pb   | Se   | Sr    | Zn    |
|--------------------|-------|------|--------------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|
| Max.               | 0.098 |      | 0.344              |      |      |      | 0.399 | 0.211 | 0.117 | 0.050 |      |      |      | 0.954 | 8.508 |
| Min.               |       |      | n.d. <sup>a)</sup> |      |      |      | n.d.  | n.d.  | n.d.  | n.d.  |      |      |      | 0.018 | n.d.  |
| Mean               | 0.002 | n.d. | 0.031              | n.d. | n.d. | n.d. | 0.007 | 0.010 | 0.019 | 0.003 | n.d. | n.d. | n.d. | 0.322 | 0.286 |
| S.D. <sup>b)</sup> | 0.013 |      | 0.049              |      |      |      | 0.045 | 0.028 | 0.019 | 0.009 |      |      |      | 0.225 | 0.993 |

<sup>a)</sup>n.d.: Not detected, <sup>b)</sup>S.D.: Standard deviation.

mmol/L(평균: 0.74 mmol/L), 화강암 지하수는 0.10~2.32mmol/L(평균: 0.61mmol/L)의 범위로 분포한다(Table 2). Na<sup>+</sup>는 주로 사장석의 비 조화 용해에 의하지만 SiO<sub>2</sub>와 Na<sup>+</sup> 사이의 상관계수는 유의 수준 0.05에서 0.28로 유의한 상관성이 나타나지 않아 연구지역 Na<sup>+</sup> 조성은 광물 보다 인위적 성분에 의한 것으로 예상된다(Table 3).

K<sup>+</sup>의 경우 연구지역 전체적인 함량 분포 범위는 0.01~0.23mmol/L(평균: 0.06mmol/L)이다. 또한, 변성 퇴적암 지하수는 0.03~0.23mmol/L(평균: 0.09mmol/L)의 범위에 있으며, 화강암 지하수는 0.01~0.07mmol/L(평균: 0.03mmol/L)의 분포 범위에 있다(Table 2). K<sup>+</sup>는 주로 K-장석, 운모류 등의 용해로 조성되지만 정장석 함량은 사장석 보다 소량이고, 풍화에 강하며, 점토 광물 등에 의한 흡착이 용이한 점과 화강암 지하수에서는 K-장석 보다 사장석의 용해가 더 용이하기 때문에 Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> 보다 낮은 함량을 갖게 되는데, 이러한 특징으로 인해 연구지역에서도 Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> 보다 낮은 함량을 갖는다. 또한 변성 퇴적암 지하수의 K<sup>+</sup>가 화강암 지하수 보다 높은 것은 변성 퇴적암을 조성하는 암석들이 화강암 보다 풍화에 약하기 때문인 것으로 판단된다. K<sup>+</sup> 역시 SiO<sub>2</sub>와의 상관계수가 유의 수준 0.01에서 -0.44로서 유의한 상관성이 없으며 Na<sup>+</sup> 조성과 마찬가지로 광물 보다 인위적 성분의 영향 때문일 것으로 여겨진다(Table 3).

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량은 연구지역 전체적으로 0.05~6.05 mmol/L(평균: 1.93mmol/L)의 범위에 놓여 있다. 지질별로는 변성 퇴적암 지하수에서 0.46~6.05 mmol/L(평균: 2.86mmol/L), 화강암 지하수에서 0.05~3.35mmol/L(평균: 1.29mmol/L)의 분포 범위를 갖는다(Table 2). HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>는 주로 탄산염 광물, 각

섬석, 흑운모, 녹니석 등에 의하지만 주로 탄산염 광물에 의해 용존 특성이 결정되는데, 연구지역 화강암 지하수 보다 변성 퇴적암 지하수에서 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량이 높은 것은 탄산염 광물인 방해석, 백운석 등을 다량으로 함유하는 지질 특성 때문이며, 이로 인해 유의 수준 0.01에서 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>와 Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> 사이의 상관계수가 각각 0.83, 0.71로 양호하게 나타난다(Table 3).

지하수 주요 성분 중 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>는 주로 황화 광물의 산화 작용에 의해 용존 특성이 결정되는데, 연구지역 변성 퇴적암 지하수에서의 높은 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 함량은 변성 퇴적암에 발달된 함탄대 내 황화 광물의 산화에 의한 것으로 예상된다. 그러나 Table 4에서 황화 광물의 대표적 성분인 Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn 등이 검출 한계 이하이거나 극미량으로 검출되어 황화 광물과의 관련성을 확인할 수 없었다.

## 2) 지하수 수질 및 오염 특성

지하수의 Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> 등의 용존 특성은 광물 요인 외에 인위적 오염원의 영향을 받기도 하는데, Ca<sup>2+</sup>는 생활하수, 제설제(CaCl<sub>2</sub>) 등에 영향을 받을 수 있으며, Mg<sup>2+</sup>는 유기물 분해, 화학 비료, 염수에 의한 영향을 받을 경우 Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 등과 높은 상관성을 나타낸다. Na<sup>+</sup>는 생활하수, 제설제, 해안지역에서는 해수 침투에 의한 영향을 받기도 한다. K<sup>+</sup>는 농촌지역의 경우 칼리 비료 성분의 유입, Cl<sup>-</sup>은 해수에 의한 영향을 배제할 경우 흑운모, 각섬석 등의 수화반응과 유체 포유물에서의 유출로 부화되지만, 유기 염소계 농약, 생활하수의 영향을 받아 대도시에서 높은 함량을 갖기도 한다. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>는 유기물 분해, 대기 중 SO<sub>2</sub>로부터 유래하고, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>는 생활하수, 인간 및 동물의 분뇨, 질소 비료 등에 의해 영향을 받는다. 본 연구에서는 요인 분석을 수행하여 지하수의 오

Table 5. Factor matrix for compositional variables of groundwater samples.

| Components                    | Factor |        |        |
|-------------------------------|--------|--------|--------|
|                               | 1      | 2      | 3      |
| Ca <sup>2+</sup>              | 0.889  | -0.344 | 0.058  |
| Mg <sup>2+</sup>              | 0.903  | -0.149 | 0.006  |
| Na <sup>+</sup>               | 0.561  | 0.653  | 0.351  |
| K <sup>+</sup>                | 0.717  | -0.395 | -0.107 |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 0.612  | -0.676 | 0.130  |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 0.866  | 0.202  | -0.022 |
| Cl <sup>-</sup>               | 0.801  | 0.463  | 0.164  |
| SiO <sub>2</sub>              | -0.247 | 0.780  | -0.110 |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | 0.745  | 0.525  | -0.137 |
| F <sup>-</sup>                | -0.324 | -0.083 | 0.911  |
| Eigen value                   | 4.919  | 2.325  | 1.044  |
| % of Variance                 | 49.2   | 23.3   | 10.5   |
| Cummulative %                 | 49.2   | 72.5   | 83.0   |

염 특성을 규명하고자 하였다. 요인 분석 시 요인 추출 방법으로 데이터 총 분산을 이용한 주성분 분석 방법, 회전 방식은 베리맥스 직각 회전방식을 적용하였다. 요인 분석은 추출된 비 상관관계의 요인을 부분집합으로 추출하여 자료 구조 내에서 변수의 특성을 설명하는 다변량 분석 기법이다. 요인 분석에서 요인은 다른 변수와 높은 상관관계를 갖고, 그 목적은 자료 축소, 변수 구조 파악, 불필요 변수 제거, 측정 도구의 타당성 검증에 있다(Belkhir *et al.*, 2011).

요인 분석 결과(Table 5), 아이겐 값 1이상에서 추출된 요인은 3개로 분류된다. 요인 1의 구성 성분은 Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 등으로 전체 분산 중 49.2%의 설명력을 갖는다. 이 중 Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 등은 광물학적 요인으로, 기타 성분들은 생활하수, 동물의 분뇨, 축산폐수, 칼리 비료, 질소 비료, 유기염소계 농약, 유기물 분해 등의 인위적 요인으로 설명된다. 전체 분산의 23.3%의 설명력을 갖는 요인 2는 Na<sup>+</sup>, SiO<sub>2</sub> 등이며, 요인 3의 F<sup>-</sup>는 전체 분산의 10.5%의 설명력을 갖는다. 따라서 탄산염 광물의 지구화학적 작용과 인위적 오염 성분의 대수층 유입이 연구지역 지하수의 지구화학적 특성과 수질 특성을 결정하는 주요한 요인으로서 이들의 동시 복합적 작용에 의한 것으로 판단된다.

화학 분석한 80개 지하수의 미량 성분의 함량은 (Table 4), 대부분 검출 한계 이하이거나 극미량으로 검출되어 인체에 위해를 미치는 중금속 원소로 인한 오염은 진행되지 않은 것으로 분석된다. 그러나 Zn<sup>2+</sup>의 경우 1개 지하수에서 8.51mg/L로 검출되어 국내 지하수 음용 기준인 3mg/L를 초과하였는데, 이는 인위적 오염원의 대수층 유입이 아닌 지하수 관정 설비 중 아연 도금 재질의 케이싱 부식으로 인한 결과로 예측된다.

### 3) 지하수 유형

지하수 유형을 도시한 Piper's diagram에서(Figure 3) 연구지역 지하수는 대부분 양이온에서 Ca<sup>2+</sup>, 음이온에서 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>가 우세한 영역에 도시된다. 또한 다수의 지하수에서 Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>가 우세한 영역에 도시되는 특성을 보이는 것은 요인 분석 결과와 마찬가지로 인위적 오염 성분도 크게 작용하고 있음을 설명한다.

지하수 유형의 단순 비교를 위해 용존 성분 당량 농도의 합을 비교하여 Ca+Mg>Na+K일 경우에 (Ca+Mg)형, 반대의 경우 (Na+K)형, HCO<sub>3</sub>>Cl+NO<sub>3</sub>인 경우 HCO<sub>3</sub>형, 반대의 경우 (Cl+NO<sub>3</sub>)형 등으로 구분한 결과, 연구지역 지하수에서 나타나는 유형은 (Ca+Mg)+HCO<sub>3</sub>, (Ca+Mg)+(Cl+NO<sub>3</sub>), (Na+K)+HCO<sub>3</sub> 등의 총 3개 그룹으로, 그룹 1은 총 58개(72.5%), 그룹 2는 총 20개(25.0%), 그룹 3은 총 2개(2.5%)의 분포를 갖는다.

지하수 유형을 단순한 광물 요인과 인위적 요인으로 설명할 때, 그룹 1은 탄산염 광물에 의해 도시되는

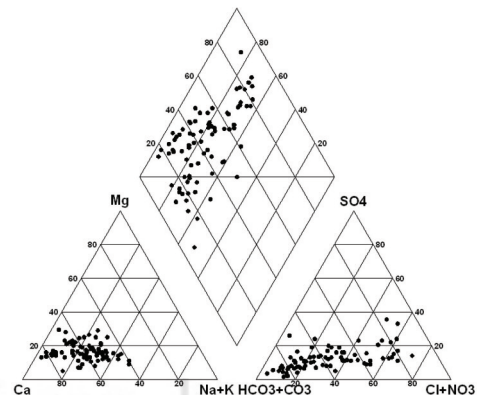


Figure 3. Piper's diagram of groundwater samples.

유형으로 인위적 요인의 영향을 받지 않는 지하수로 해석할 수 있으나, Table 3에서  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$  사이에서의 상관관계수  $0.81(Ca^{2+}-Mg^{2+})$ ,  $0.55(Ca^{2+}-Cl^-)$ ,  $0.51(Ca^{2+}-NO_3^-)$ ,  $0.68(Mg^{2+}-Cl^-)$ ,  $0.53(Mg^{2+}-NO_3^-)$ ,  $0.77(Cl^-NO_3^-)$ 로 유의한 상관성이 나타나고, 요인 분석 결과에서 요인 1의 성분으로 추출되기 때문에 단순히 광물 요인에 의한 유형으로 해석하기에는 부적절한 것으로 판단된다. 따라서 그룹 1의 지하수는 광물 요인과 인위적 요인의 동시 복합적 작용에 의한 것이지만 광물 요인이 인위적 요인 보다 영향력이 큰 유형의 지하수로, 그룹 2는 인위적 요인의 영향력이 광물 요인 보다 비교적 큰 유형의 지하수로, 그룹 3은 인위적 요인에 의한 유형의 지하수로 해석하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

### 3. $NO_3^-$ 오염 및 기원 추정

#### 1) $NO_3^-$ 오염 특성

연구지역은 농경지 발달이 많은 전형적인 농촌지역으로 지하수 오염은 광역상수도 보급률 저하, 상하수도 시설 미비, 유기 염소계 농약, 질소 비료, 칼리 비료, 생활하수, 축산폐수 등 인위적 오염 성분의 대수층 유입에 의한 것이며, 특히  $NO_3^-$ 와 관련성이 높은 것이 특징적으로 현장 수질에서 분석된 바와 같이 상당수의 지하수가  $NO_3^-$ -N의 국내 지하수 음용수 및 생활용수 수질 기준치 이상의 함량을 갖는 것으로 나타났다.

지질별  $NO_3^-$ -N 함량의 분포 범위는 변성퇴적암 지하수 1.1~35.0mg/L(평균: 8.8mg/L)로 16개 지하수

에서 음용수 기준을 넘어서고, 화강암 지하수는 0.1~35.8mg/L(평균: 11.3mg/L)로 47개 지하수에서 음용수 기준을 넘어서고 있다(Figure 4). 특히,  $\delta^{15}N$  분석용 지하수 80개 중 총 46개 지하수에서 음용수 기준을 넘어서고, 이 중 16개 지하수는 생활용수 기준을 넘어서고 있다. 또한 지질별로 구분해 보면 변성퇴적암 지하수 17개, 화강암 지하수 29개는 음용수 기준 이상의 함량을 보이고, 생활용수 기준 이상의 함량을 보이는 지하수는 변성퇴적암에서 5개, 화강암에서 11개 이다(Figure 5).

$Cl^-$ 은  $NO_3^-$  외에 농촌지역 지하수 오염의 대표적 성분으로 생활하수, 비료와 분뇨의 대수층 유입에 의해 높은 함량을 보일 수 있다. Table 3에서 두 성분은 유의 수준 0.01에서 0.77의 상관계수로 비교적 높은 상관성을 갖는다. 따라서  $Cl^-$ 과  $NO_3^-$  Table 5에서 요인 1의 구성 성분으로 추출되고 ( $Cl+NO_3$ )형의 지하수가 상당수 나타나는 것으로 볼 때, 연구지역 지하수 역시  $NO_3^-$ 와  $Cl^-$ 에 의한 오염이 우려되며, 이는 국내외 농촌지역 지하수 수질 특성과 유사한 결과를 나타낸다.

#### 2) $NO_3^-$ 기원 추정

지하수 내 질소의 기원은 대기 질소의 생물학적 고착 및 분해, 화학 비료, 유기 비료, 인간 및 동물의 분뇨, 생활하수, 산업 슬러지, 폐수, 침출수, 토양 내 유기질소 등 다양하고(Fennesy and Cronk, 1997), 하천수와 해수에 부영양화를 일으키며, 특히  $NO_3^-$ -N은 유아에게 청색증을 발현시키는 물질로 널리 알려져 있다.  $NO_3^-$ 는 특정한 질소 동위원소비( $\delta^{15}N$ ) 값을 갖

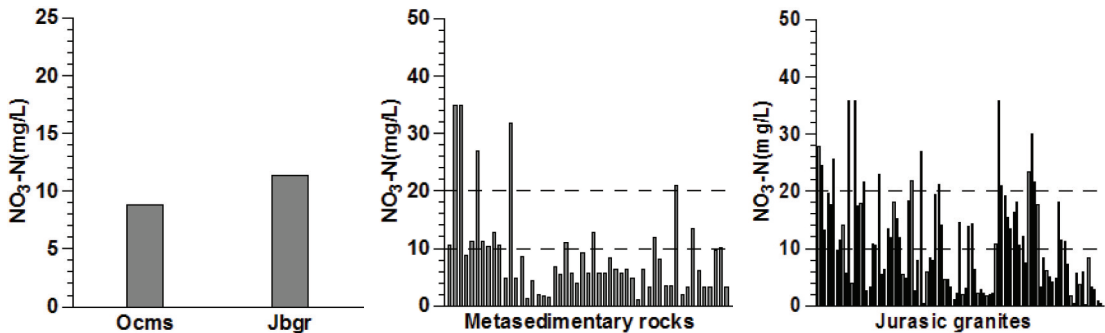


Figure 4.  $NO_3^-$ -N concentrations plots from field data of groundwater samples(Ocms: Metasedimentary rocks, Jbgr: Jurassic granites, Dashes: Water quality standard).

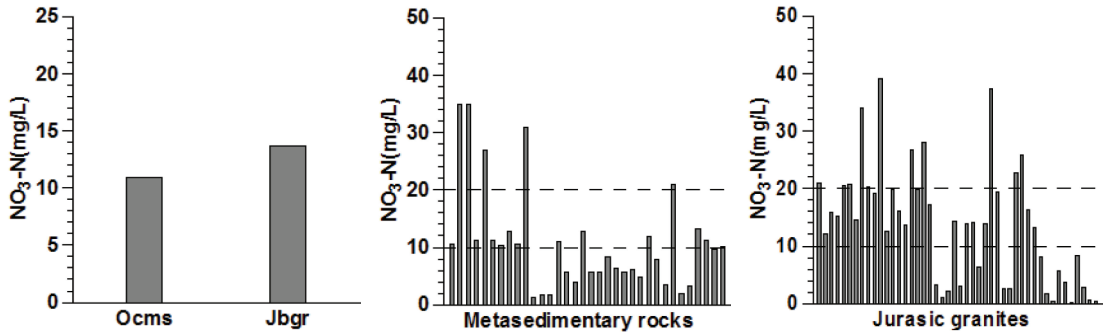


Figure 5. NO<sub>3</sub>-N concentrations plots from δ<sup>15</sup>N analysis data of groundwater samples(Ocms: Metasedimentary rocks, Jbgr: Jurassic granites, Dashes: Water quality standard).

Table 6. Results of NO<sub>3</sub>-N, δ<sup>15</sup>N analysis of groundwater samples.

|       | NO <sub>3</sub> -N(mg/L) | δ <sup>15</sup> N(‰) |
|-------|--------------------------|----------------------|
| Max.  | 39.1                     | 17.4                 |
| Min.  | 0.1                      | -1.9                 |
| Mean  | 12.5                     | 6.1                  |
| S.D.* | 9.6                      | 3.9                  |

\* : Standard deviation.

는데 일반적인 범위는 -20~+30%이다(Kendall and McDonell, 1998). 또한 그 기원은 첫째, 대기 기원으로 대기 중 NO<sub>x</sub> 성분이 강수에 용해되어 지표로 유입에 의하여 약 -5~+10%의 범위이다. 둘째, 토양 유기물로부터 기원은 3~8% 범위이고, 셋째, 농업 활동과 관련된 질소 비료에 의한 것으로 약 -4~+4%의 범위이며 일부 비료에서는 -8~+8%의 범위를 갖기도 한다. 마지막으로 인간과 동물의 분뇨에서의 기원은 약 +10~+20% 범위에 놓여 있다(Heaton, 1986; Min *et al.*, 2002).

연구지역 δ<sup>15</sup>N 분석용 지하수 내 NO<sub>3</sub>-N 함량은 0.1~39.1mg/L(평균: 12.5mg/L)의 범위로 분포하며, δ<sup>15</sup>N은 -1.9~17.4‰(평균: 6.1‰)의 범위로 분포한다(Table 6). NO<sub>3</sub>-N과 δ<sup>15</sup>N의 관계를 대기 기원의 A그룹, 토양 유기물 기원의 B그룹, 농업 활동과 관련된 C그룹, 분뇨 기원의 D그룹 등으로 분류할 때, A그룹은 각각 0.1~39.1mg/L, -1.9~9.9%, 67개(83.8%)의 분포를 갖고, B그룹은 각각 0.7~35.0 mg/L, 3.3~7.6%, 33개(41.3%), C그룹은 각각 0.1~39.1mg/L, -1.9~3.8%, 27개(33.8%), D그룹은 각각 0.3~35.0mg/L, 10.1~17.4%, 13개(16.3%)의

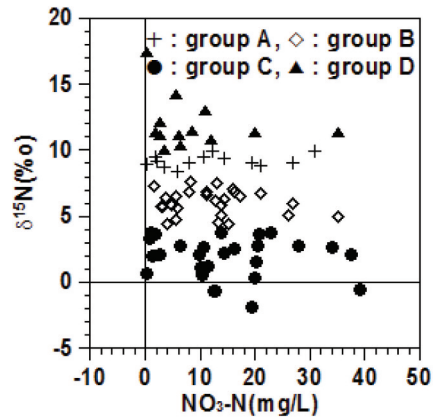


Figure 6. Showing the division plot of NO<sub>3</sub>-N and δ<sup>15</sup>N into four groups.

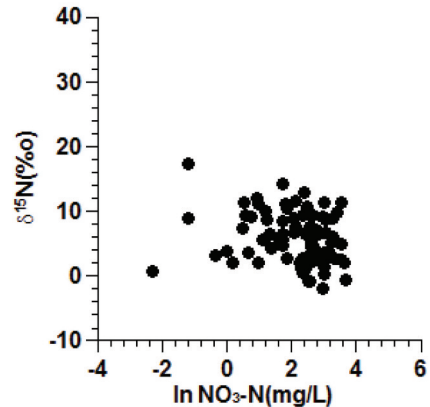


Figure 7. Plot of NO<sub>3</sub>-N versus δ<sup>15</sup>N of groundwaters.

분포를 갖는다. 그러나 D그룹을 제외한 나머지 그룹 중에서 2개 이상의 그룹에 속하는 지하수가 54개(67.5%)로 상당수 나타나며, 이들에 대해서는 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 기원을 명확히 판단하기 어렵고 단순히 복합 작용에 의한 것으로 추정된다.

본 연구에서는 연구지역이 농촌지역임을 감안하여 2개 이상의 그룹에 속하는 지하수에 대해  $\text{NO}_3^-$  기원을 농업 활동>토양 유기물>대기 순으로 정의하여 재분류하였다. 그 결과, 재분류된 그룹별  $\text{NO}_3^-$ -N 함량과  $\delta^{15}\text{N}$  값은 A그룹이 각각 0.3~30.9mg/L, 8.4~9.9‰로 13개(16.3%), B그룹은 각각 1.6~35.0mg/L, 4.4~7.6‰로 27개(33.8%), C그룹은 각각 0.1~39.1mg/L, -1.9~3.8‰로 27개(33.8%), D그룹은 각각 0.3~35.0mg/L, 10.1~17.4‰, 13개(16.3%)의 분포를 갖는다(Figure 6). 또한 Figure 7에서  $\text{NO}_3^-$ -N 함량 감소에 따라  $\delta^{15}\text{N}$  값이 감소하는 경향을 보이는데,  $\text{NO}_3^-$ 의 환원반응으로  $\text{NO}_3^-$ 의 질소 동위원소 중  $^{14}\text{N}$ 이 상대적으로 빠른 속도로  $\text{N}_2$  혹은  $\text{NO}_2$ 로 변환되는 것으로 잔류  $\text{NO}_3^-$ 의  $\delta^{15}\text{N}$  값이 점진적으로 증가하는 기작인 탈질 작용(Kendall and McDonell, 1998)은 진행되지 않은 것으로 해석된다. 결과적으로 연구지역 지하수의  $\text{NO}_3^-$  기원은 상기한 4가지 기원에 의한 것이나 주로 농업 활동과 분뇨 기원이 지배적일 것으로 보여진다.

#### IV. 결론

충북 옥천 일부지역에 분포된 지하수의 지구화학적 특성, 수질 특성,  $\text{NO}_3^-$ 에 오염 특성과 그 기원을 분석하였다. 연구지역 지하수는 약산성 내지 약알칼리성의 환원환경에 놓여 있으며 일부 지하수는 지표수 유입 가능성을 보여주고, 석회석과 백운석의 높은 용존 특성으로 인해 변성퇴적암 지하수에서 pH가 높은 특성을 갖는다.

지하수 유형은 대부분  $(\text{Ca}+\text{Mg})+\text{HCO}_3^-$ 에 도시되나,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  등에 의해  $(\text{Ca}+\text{Mg})+(\text{Cl}+\text{NO}_3^-)$ 형도 상당수 분포하고, 중금속으로 인한 오염은 없는 것으로 나타났으며, 지하수 지구화학적 특성과 수질 특성은 광물학적 요인과 인위적 요인의 동시 복합 작용에 의해 결정된 것으로 해석된다. 현장 수질과  $\delta^{15}\text{N}$  분석 결과,  $\text{NO}_3^-$ -N 함량이 높은 지하수와  $\text{Cl}^-$ 과의 비교적 높은 상관성으로 인해  $(\text{Cl}+\text{NO}_3^-)$ 의 지하수 유형이 다수 분포하고 있어  $\text{NO}_3^-$ 와  $\text{Cl}^-$ 에 의한 오염이 우려되며, 이는 국내의 농촌지역의  $\text{NO}_3^-$ 와  $\text{Cl}^-$ 과 관련

한 지하수 오염 특성과 일치한다.

연구지역 지하수의  $\text{NO}_3^-$  기원은 대기, 토양 유기물, 농업 활동, 분뇨 등의 영향을 고루 받고 있으나, 주로 농업 활동과 분뇨 등이 지배적일 것으로 추정되고 탈질 작용의 가능성은 나타나지 않는다.

#### 인용문헌

- 김동학, 장태우, 김원영, 황재하. 1978. 지질도폭 설명서(옥천도폭, Scale 1 : 50,000), 자원개발연구소, 2-13.
- 김연태, 우남철. 2003. 축사가 밀집된 농촌지역 천부지하수의 질산염 오염특성, 한국지하수토양환경학회지, 8(1), 56-67.
- 김옥준, 이대성, 이하영. 1977. 지질도폭 설명서(보은도폭, Scale 1 : 50,000), 자원개발연구소, 4-27.
- 김윤종, 원종석, 이석민. 2000. GIS를 이용한 서울시 지하수 오염분석 연구, 한국GIS학회지, 8(2), 317-328.
- 이인호, 이재영, 김통권. 1997. 대구시 지하수의 수질에 대한 지화학적 연구, 자원환경지질, 30(4), 327-340.
- 이인호, 조병욱, 이병대, 성익환, 임용수. 2002. 광주광역시 지하수의 수리지화학적 특성 연구, 한국지하수토양환경학회지, 7(3), 115-132.
- 이종운, 전효택, 전용원. 1997. 국내 화강암질암내 심부지하수의 지구화학적 특성, 한국지하수환경학회지, 4(4), 199-211.
- 정상용, 심병완, 김규범, 강동환, 박희영. 2000a. 지구통계 기법을 이용한 영산강·섬진강 유역의 지하수 수질특성 연구, 한국지하수환경학회지, 7(3), 125-132.
- 정상용, 강동환, 박희영, 심병완. 2000b. 부산지역 지하수 오염현황 분석을 위한 지구통계 기법의 응용, 지질공학회지, 10(3), 247-261.
- Belkhiri L, Boudoukha A, Mouni L. 2011. A multivariate Statistical Analysis of Groundwater Chemistry Data, Int. J.

- Environ. Res., 5(2), 537-544.
- Boulding JR. 1995. Practical handbook of soil, vadose zone and groundwater contamination assesment, prevention and remediation, CRC Press, Florida, 59-116.
- Choi WJ, Han GH, Ro HM, Yoo SH, Lee SM. 2002. Evaluation of nitrate contamination sources of unconfined groundwater in the North Han River basin of Korea using nitrogen isotope ratios, *Geosciences Journal*, 6(1), 47-55.
- Choi WJ, Lee SM, Ro HM. 2003. Evaluation of contamination sources of groundwater NO<sub>3</sub>- using nitrogen isotope data : A review, *Geosciences Journal*, 7(1), 81-87.
- Fennesy MS, Cronk JK. 1997. The effectiveness and restoration potential of riparian ecotones for the management of nonpoint source pollution, particularly nitrate, *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, 27, 285-317.
- Fritz P, Fontes JC, Frappe SK, Louvat D, Michelot JL, Balderer W. 1989. The isotope geochemistry of carbon in groundwater at Stripa, *Geochem. Cosmochim. Acta*, 53, 1765-1775.
- Garrels RM, Christ CL. 1965. Natural limits of Eh and pH, In : *Solutions, minerals and equalibria*, Harper & Row, 379-383.
- Heaton THE. 1986. Isotopic studies of nitrogen pollution in the hydrosphere and atmosphere, A review *Chem. Geol.*, 59, 87-102.
- Kendall C, McDonnell JJ. 1998. Isotope tracers in catchment hydrology, Elsevier, 839.
- Min JH, Yun ST, Kim KJ, Kim HS, Han JS, Lee KS. 2002. Nitrate contamination of alluvial groundwaters in the Nakdong River basin, Korea, *Geosciences Journal*, 6(1), 35-46.
- Sadashivaiah C, Ramakrishnaiah CR, Ranganna G. 2008. Hydrochemical Analysis and of Groundwater Quality in Tumkur Taluk, Karnataka State, India, *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2008, 5(3), 158-164.
- Williamson AK, Munn MD, Ryker SJ, Wagner RJ, Ebbert JC, Vandepool AM. 1998. Water quality in the central Colombia plateau, Washington and Idaho, 1992-95, U. S. Geological Survey Circular, 1144.
- Yoo SH, Choi WJ, Han GH. 1999. An investigation of the sources of nitrate contamination in the Kyonggi province groundwater by isotope ratios analysis of nitrogen, *Journal of Korea Society of Soil Science and Fertilizer*, 32, 47-56.

## References

- Kim DH, Chang TW, Kim WY, Hwang JH. 1978. Explanatory Text of the Geological Map of Ogcheon Sheet(Scale 1 : 50,000), Korea Research Institute of Geoscience and Mineral Resources, 2-13.
- Kim YT, Woo NC. 2003. Nitrate Contamination of Shallow Groundwater in an Agricultural area having Intensive Livestock Facilities, *Journal of KoSSGE*, 8(1), 56-67.
- Kim OJ, Lee DS, Lee HY. 1977. Explanatory Text of the Geological Map of Boeun Sheet(Scale 1 : 50,000), Korea Research Institute of Geoscience and Mineral Resources, 4-27.
- Kim YJ, Won JS, Lee SM. 2000. Groundwater Pollution Analysis Using GIS, *The Journal of Korea*, 8(2), 317-328.
- Lee IH, Lee JY, Kim TK. 1997. Geochemical Study on the Quality of Groundwater in

- Daegu City, Korea, *Econ. Environ. Geol.*, 30(4), 327-340.
- Lee IH, Cho BW, Lee BD, Sung IH, Lim YS. 2002. Hydrogeochemical Characteristics of Groundwater in Kwangju City, *Journal of KoSSGE*, 7(3), 115-132.
- Lee JU, Chon HT, John YW. 1997. Geochemical Characteristics of Deep Granitic Groundwater in Korea, *Journal of the Korean Society of Groundwater Environment*, 4(4), 199-211.
- Chung SY, Shim BO, Kim GB, Kang DH, Park HY. 2000a. The Characteristics of Groundwater Quality in the Youngsan and Sumjin River Basins Using Geostatistical Methods, *Journal of the Korean Society of Groundwater Environment*, 7(3), 125-132.
- Chung SY, Kang DH, Park HY, Shim BO. 2000b. Application of Geostatistical Methods for the Analysis Groundwater Contamination in Pusan, *The Journal of Engineering Geology*, 10(3), 247-261.
- Belkhir L, Boudoukha A, Mouni L. 2011. A multivariate Statistical Analysis of Groundwater Chemistry Data, *Int. J. Environ. Res.*, 5(2), 537-544.
- Boulding JR. 1995. *Practical handbook of soil, vadose zone and groundwater contamination assesment, prevention and remediation*, CRC Press, Florida, 59-116.
- Choi WJ, Han GH, Ro HM, Yoo SH, Lee SM. 2002. Evaluation of nitrate contamination sources of unconfined groundwater in the North Han River basin of Korea using nitrogen isotope ratios, *Geosciences Journal*, 6(1), 47-55.
- Choi WJ, Lee SM, Ro HM. 2003. Evaluation of contamination sources of groundwater NO<sub>3</sub>- using nitrogen isotope data : A review, *Geosciences Journal*, 7(1), 81-87.
- Fennesy MS, Cronk JK. 1997. The effectiveness and restoration potential of riparian ecotones for the management of nonpoint source pollution, particularly nitrate, *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, 27, 285-317.
- Fritz P, Fontes JC, Frappe SK, Louvat D, Michelot JL, Balderer W. 1989. The isotope geochemistry of carbon in groundwater at Stripa, *Geochem. Cosmochim. Acta*, 53, 1765-1775.
- Garrels RM, Christ CL. 1965. Natural limits of Eh and pH, In : *Solutions, minerals and equalibria*, Harper & Row, 379-383.
- Heaton THE. 1986. Isotopic studies of nitrogen pollution in the hydrosphere and atmosphere, A review *Chem. Geol.*, 59, 87-102.
- Kendall C, McDonnell JJ. 1998. *Isotope tracers in catchment hydrology*, Elsevier, 839.
- Min JH, Yun ST, Kim KJ, Kim HS, Han JS, Lee KS. 2002. Nitrate contamination of alluvial groundwaters in the Nakdong River basin, Korea, *Geosciences Journal*, 6(1), 35-46.
- Sadashivaiah C, Ramakrishnaiah CR, Ranganna G. 2008. Hydrochemical Analysis and of Groundwater Quality in Tumkur Taluk, Karnataka State, India, *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2008, 5(3), 158-164.
- Williamson AK, Munn MD, Ryker SJ, Wagner RJ, Ebbert JC, Vandepool AM. 1998. *Water quality in the central Colombia plateau, Washington and Idaho, 1992-95*, U. S. Geological Survey Circular, 1144.
- Yoo SH, Choi WJ, Han GH. 1999. An investigation of the sources of nitrate contamination in the Kyonggi province groundwater by isotope ratios analysis of nitrogen, *Journal of Korea Society of Soil Science and Fertilizer*, 32, 47-56.