

## 지하수 수질과 지질의 통계학적 상관성 분석

김종태<sup>1</sup> · 박상주<sup>2</sup> · 감미아<sup>3</sup> · 추창오<sup>1</sup> · 정교철<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>안동대학교 지구환경과학과, <sup>2</sup>한국농촌공사, <sup>3</sup>안동대학교 환경공학과

### Analysis on Statistical Relationship between Groundwater Quality and Geology

Jong-Tae Kim<sup>1</sup>, Sang-Joo Park<sup>2</sup>, Meea Kang<sup>3</sup>, Chang-Oh Choo<sup>1</sup>,  
and Gyo-Cheol Jeong<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Earth and Environmental Sciences, Andong National University

<sup>2</sup>Korea Rural Community & Agriculture Corporation

<sup>3</sup>Dept. of Environmental Engineering, Andong National University

이 연구는 거창, 함천, 창녕지역 지하수를 대상으로 물-암석 반응에 따른 수질특성을 해석하고, 지질과 수질간의 통계학적 분석을 통하여 상관성을 규명하는 데 그 목적을 두고 있으며 수질변화를 결정하는 물-암석반응 메커니즘을 해석하였다. 이들 암종과 수질과의 상관성을 분석한 결과 불소의 경우 섬록암류에서는 철과 알루미늄, 안산암류에서는 염소와 질산성질소와의 상관성이 높게 나타난다. 경도, 중발잔류물, 황산이온 등은 화강암을 포함한 모든 암종에서 서로 높은 상관성을 나타내며 특히, 퇴적암에서 더욱 밀접한 관계를 나타낸다. 암반지하수 수질은 심도가 깊어짐에 따라 물-암석과의 반응을 많이 거치면서 TDS(불소, 경도, 중발잔류물, 황산이온 등)가 증가한다고 인식되어 왔으나, 본 연구결과 개발심도와 수질결과와의 상관성은 미약한 것으로 나타났다. 이는 본 지역 대수층의 수리지질학적 요소가 복잡하거나, 심도에 따른 물-암석반응의 경로에 일관성이 결여되었기 때문인 것으로 보인다.

**주요어** : 지하수, 물-암석 반응, 지질, 수질, 통계학적 분석

The purposes of this study lie on understanding characteristic water-rock interaction mechanisms of groundwater in the Geochang, Hapcheon, and Changryeong areas and establishing correlation between geological factors and groundwater chemistry by statistical tools. Based on the statistical results from the relationship between rock types and groundwater chemistry, fluorine is correlated with Fe and Al in the diorite area, whereas it is correlated with Cl and NO<sub>3</sub>-N in the andesite area. Hardness, total solids, and SO<sub>4</sub> show that they are closely related to each other in all rock types, especially with highest relationship in sedimentary rocks. Although it is generally acknowledged that TDS increases with depths of aquifer due to the long term water-rock interaction, no remarkable relationship between well depth and water chemistry is found in this study. It appears that hydrogeological system in the study area may be complex or the path of water-rock interaction is inconsistent with well depth.

**Key words** : groundwater, water-rock interaction, geological factors, groundwater chemistry, statistical tools

## 서론

수자원장기종합계획(건설교통부, 2001)에 의하면 1998년 현재 전국의 용수 총 이용량은 331억 m<sup>3</sup>에 이르며 여기에는 제주도의 지하염수 이용량 6억 m<sup>3</sup>이 포함되어

있다. 이 양은 연간 수자원 총량 1,276억 m<sup>3</sup>의 26%이고, 유출량 731억 m<sup>3</sup>의 45%에 해당한다. 용도별로 살펴보면 농업용수가 158억 m<sup>3</sup>으로서 총 용수이용량의 48%로 가장 많고 생활용수가 73억 m<sup>3</sup>으로 22%이며, 공업용수는 9%인 29억 m<sup>3</sup>을 사용하였으며, 하천의 기능 유지를 주

\*Corresponding author: jeong@andong.ac.kr

목적으로 하는 유지용수로는 21%인 71억 $m^3$ 을 사용하였다. 수원별로는 하천수 이용량이 161억 $m^3$ , 댐 이용량이 133억 $m^3$ 이며, 지하수 이용량은 약 37억 $m^3$ 으로서 총 용수 이용량의 약 11%를 차지하는 것으로 보고된 바 있다. 이처럼 최근 들어 지하수 이용량이 증가하면서 지하수의 수질과 특성파악이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

자연수 내에 함유된 주 양이온은  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$  등이고 주 음이온은  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $CO_3^{2-}$  등이며 그 외 용존가스로는  $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $H_2S$  등이 있다. 뿐만 아니라 지하수 수질에 큰 영향을 미칠 수 있는 소량의 물질들도 함유한다. 지하수는 이들 무기물질 이외에도 자연발생적인 유기물질과 인공적인 유기물질과 각종 미생물들이 포함되어 있다. 현재 국내 지하수 수질기준(먹는물)은 검사항목 46개항목으로 크게 생물학적 항목, 건강상 유해무기물질, 건강상 유해유기물질, 심미적 영향 물질 등으로 크게 구분되며, 주변환경의 영향이나 시공상의 하자등으로 오염되지 않은 순수한 지하수의 수질에 미치는 영향은 다분히 기반암의 암석종류에 기인한다. 지하수의 수질은 외부로부터 오염물의 유입이 없는 한 자연적으로 물-암석 반응을 통하여 점차 변해간다. Freeze and Cherry(1979)에 따르면 지하수체는 크게 3개의 대(zone)로 구분되는데 상부대는 중탄산( $HCO_3^-$ )이 풍부하며, 총고용물질(TDS)은 낮고, 중간대는  $SO_4^{2-}$ 가 풍부하며, TDS가 높고, 하부대는 염소( $Cl^-$ )와 TDS가 높은 것이 특징이다. 지하수의 수질은 물-암석반응을 겪으면서 진화하는데, 특히 지질과 여러 성분간에 밀접한 관련성을 보인다(Chebotarev, 1955; Nordstrom et al., 1989; Bank et al., 1995). 물-암석 반응동안 규산염광물은 그 구성성분의 일부가 그대로 남게 되는 비조화 용해(incongruent dissolution)를 겪게 되며, 점차 지하수와 평형을 이루면서 이차적으로 새로운 광물이 형성된다(White and Brantley, 1995; Stumm and Morgan, 1996). 이로써 지하수는 이차적 광물상과 평형상태를 유지하면서 일정한 수질을 가지거나, 또는 대수층의 환경이 변하게 되면 다시 불포화상태에 놓이게 되고, 화학반응을 겪으면서 수질이 다시 변한다.

본 연구는 1999년 이후 개발된 지역을 연구대상으로 삼아 이 지역 지하수의 수질특성을 해석하고, 지질과 수질간의 통계학적 분석을 통하여 상관성을 규명하여 수질변화를 결정하는 주요소인 물-암석간 반응 메커니즘을 해석하는 것이 목적이다.

## 시료채취 및 연구방법

본 연구를 위해 거창, 함천, 창녕 지역을 대상으로 시료 채취를 하였으며 총 126개 지구를 샘플로 선정하였다. 먹는물 기준 수질검사항목 46개 항목 중 가장 흔히 검출되는 13개 항목에 대하여 수질특성을 분석하였다. 지하수 내 무기물의 성분 분석을 위한 채수는 현장에서 수소이온농도(pH), 전기전도도(EC, electrical conductivity) 및 수온을 측정하였다. 간이수질을 측정후, 지하수를 현장에서 0.45  $\mu m$  membrane 필터를 사용하여 부유물을 제거한 다음에 무균용기에 채수하였다. 모든 지하수 시료는 냉장보관을 하여 실험실로 운반한 다음에 양이온과 음이온을 각각 분석하였다. 연구지역(거창, 함천, 창녕) 농촌생활용수 조사지역의 수질검사 결과를 기준으로 강조되는 주요 수질항목들을 살펴보면 pH, 탁도, 경도, 중발산류물, 불소, 염소, 질산성질소, 과망간산칼슘소비량, 아연, 철, 망간, 황산이온, 알루미늄 등이다. 수질과 지질간의 상관성을 해석하기 위하여 암석시료를 분석하였다. 시추작업중에 회수된 암편과 대표성이 있는 야외암석 노두를 채취하여 주원소와 불소를 분석하였다. 연구 작업동안 실제의 불소 고함량 지하수 시추공에서 시추 코어를 제대로 회수하기가 현실적으로 불가능하였다. 그러나 본 연구지역의 경우 각 지역에 따른 지질암상의 차이가 별로 없기 때문에 이들을 참고로 비교하여도 무리는 없을 것으로 판단된다.

## 연구지역별 지질 및 수질 특성

### 거창지역

거창군에 분포하는 지질은 변성암류와 화성암류 및 이를 부정합적으로 피복하고 있는 신생대 제4기 충적층으로 구분할 수 있다. 거창도폭(1964)에 의하면 변성암류에는 시대미상의 미그마타이트질편마암, 반상변정화강암질편마암, 세립화강암질편마암, 조립화강암질편마암, 호상편마암, 우백화강편마암, 선캠브리아기의 흑운모편마암, 반상변정편마암, 화강암질편마암, 화성암류에는 시대미상의 섬록암질암, 해인사화강암, 주라기의 육십령화강암, 백악기의 흑운모화강암, 각섬석화강암, 복운모화강암이 주로 분포한다.

샘플로 선정된 48개 지하수 개발공 중 수질성적의 상관성이 약한 15개 샘플을 제외하고 나머지 33개 자료만 정리한 결과 화강암류와 편마암이 주종을 이룬다. 이들

지역은 대체로 대수층의 발달이 양호하여 지하수개발의 어려움은 없으나 남하면, 마리면 등 황강유역에서 개발된 지하수에서 간혹 불소가 기준치 이상으로 검출되기도 한다. 경도, 증발잔류물, 황산이온 등은 서로 상관성은 있으나 수질기준 이내이다.

### 합천지역

합천도폭(1964)에 따르면 합천군에 분포하는 지질은 크게 변성암류, 화성암류, 퇴적암류와 이를 부정합적으로 피복하고 있는 제4기 충적층으로 구분할 수 있다. 변성암류에는 흑운모편마암, 반상변정편마암, 편마암상섬록암질암, 선캠브리아기의 미그마타이트질편마암 등이 분포하며, 화성암류는 화강암, 안산암류, 해인사화강암, 우백질화강암, 고령화강암, 각섬석화강암, 흑운모화강암, 둔내리화강암, 섬강암 등이 분포하며 퇴적암류에는 원지층, 마동층, 진주층, 칠곡층, 함안층, 신라역암층이 분포하고 있다.

합천지역은 총 57개 시료를 선정하였으며 다양한 기반암이 존재하여, 화강암류, 편마암류, 섬록암류, 안산암류, 퇴적암류 등 본 연구에서 구분한 모든 암종이 나타난다. 합천읍을 끼고 흐르는 황강을 중심으로 하부(대양면, 용주면, 삼가면, 쌍백면, 쌍책면, 청덕면, 초계면 등)는 퇴적암이고, 황매산을 중심으로 한 대병면, 가야면, 아로면, 봉산면 등은 편마암 및 화강암이 분포하고 있다.

기반암에 따른 수질특성도 차이가 나는데 퇴적암류에서는 경도, 증발잔류물, 황산이온 등의 수치가 서로 상관성이 있으며 또한, 먹는물 수질기준치에 근접하거나 높은 수치를 보이고 있다. 그 외 화강암이나 편마암지역 샘플들은 양호한 수질분포를 보인다.

### 창녕지역

창녕군에 분포하는 지질은 백악기시대의 퇴적암류와 화성암류 및 이를 부정합적으로 피복하고 있는 신생대 제4기 충적층으로 구분할 수 있다. 창녕도폭(1964)에 의하면 퇴적암류에는 함안층, 진동층이 분포하고 화성암류에는 흑운모화강암, 화강섬록암, 화강반암, 섬록암으로 구성되어 있다. 퇴적암류는 전체적으로 북북서에서 남동방향으로 길게 대상으로 분포하고 있다.

창녕지역의 기반암은 화왕산을 중심으로 하는 성산면 일대는 안산암이 분포하지만, 나머지 대부분의 지역은 퇴적암이 분포한다. 안산암지역의 수질은 양호한 반면 퇴적암지역에서는 합천지역과 마찬가지로 경도, 증발잔류물, 황산이온 등이 서로 상관성이 있으며 수질기준에

근접하거나 높은 수치를 보인다. 물론 이들 퇴적암지역에서 경도 등의 수치가 현저히 낮은 샘플도 있는데 이는 개발심도 및 양수량을 조절한 경우에 해당된다.

## 지하수 수질의 상관성 분석

상관관계(correlation)분석이란 연구하고자 하는 변수들간의 관련성을 분석하기 위해 사용하는 분석 방법으로 하나의 변수가 다른 변수와 관련성이 있는지, 있다면 어느 정도의 관련성이 있는지를 알아보기 위한 분석 기법이다.

상관관계분석에서 보편적으로 자주 이용되는 척도는 피어슨 상관계수(Pearson correlation coefficient: r)로서 상관계수 r은 -1에서 +1까지의 값을 가진다. 즉 측정된 자료가 좌표상에 정(positive, +)의 기울기를 갖는 직선에 가깝다면 그때의 상관계수는 정(+), 음(negative, -)의 기울기를 갖는 직선에 가깝다면 음(-)의 상관계수를 갖는다. 그리고 이러한 선형적인 상관관계를 갖지 않는 경우 상관관계는 0에 가까워진다.

또한, 두 변수간의 상관계수(r)의 절대값이 1.00이면 완전한 상관관계, 0.90이면 매우 높은 상관관계, 0.70~0.80이면 높은 상관관계, 0.50~0.60이면 보통의 상관관계, 0.40이하이면 약한 상관관계가 있다고 할 수 있다. 그러나 이러한 기준도 일반적인 것이며 절대적 기준이라고는 할 수 없으며 연구자나 연구 분야에 따라 다소 다르게 적용되기도 한다.

### 암석 내 주요 성분간 상관성 분석

암석 내 주요 성분들간의 함량변화가 지하수의 수질 특성에 영향을 미치는 정도를 파악하기 위하여 분석된 주요 항목을 대상으로 상관성 분석을 수행하여 결정계수(coefficients of determination)를 계산하였다. 특정한 성분의 거동은 마그마로부터 화강암이 형성되어 마그마 분화작용을 거치면서 정치(emplacement)되는 일련의 과정에서 화학적 친화도나 결정화 작용에 의하여 영향을 받게 된다. 본 연구에서는 주원소를 중심으로 이들이 심도별 또는 풍화과정동안 얼마나 유사한 거동을 하는지 또는 반대의 경향성을 나타내는지를 파악하고자 한다. 특히 연구지역의 지하수에는 불소의 함량이 식수기준치 이상으로 검출되는 경우도 일부 관찰된다. 이것의 원인을 파악하기 위하여 주요 성분과 불소와의 상관성을 도출하기 위하여 마찬가지로 결정계수를 계산하였다.

연구지역의 규소와 알루미늄간의 결정계수는 0.888로

서 높게 나타나는데 서로 음의 관계를 가진다. 즉 규소의 함량이 높을수록 알루미늄의 함량은 낮아진다. 이는 석영, 장석을 비롯한 대부분의 규산염광물에서 나타나는 일반적인 현상이다. 중성범위에서 알루미늄의 용해도는 매우 낮기 때문에 어느 정도의 물-암석반응이 일어나더라도 지하수에 알루미늄이 용존되기는 어렵다(Drever, 1988). 따라서 이들의 상관성을 통하여 수질에 영향을 주는 정도를 정확하게 해석하기가 무리가 있다.

규소와 철( $Fe_2O_3$ )간의 결정계수는 0.964로서 매우 높은 상관성을 보이는데 이들은 서로 음의 관계를 가진다. 규소와 마그네슘간의 결정계수는 0.919로서 철과 마찬가지로 매우 높게 나타나며 이들은 음의 관계를 보인다. 이는 휘석, 각섬석, 흑운모와 같은 철, 마그네슘 함유광물의 존재와 관련된다. 즉 철, 마그네슘의 함량이 높을수록 이들 광물은 풍부하게 존재하는 것으로 볼 수 있다. 그러나 암석이 물과의 반응을 겪으면서 풍화, 변질되면 이들은 소모되므로 암석 내에는 철, 마그네슘이 결핍되게 된다. 따라서 암석 내 규산염광물과 광물 내에서 규소와 철, 마그네슘 광물간의 상관성은 더욱 떨어지게 될 것이다.

전술한 바와 같이 본 연구에서 분석된 암석의 수가 충분하지 못하고 다양하지 못한 점은 해석상의 한계점이 될 수 있으나, 전암의 분석치에서 이들 성분간 상관성이 매우 높은 점으로 볼 때 물-암석간 반응의 해석에 충분한 근거자료가 된다. 규산염과 철, 마그네슘 광물간의 상관성이 매우 높은 것은 지하수시스템에서 물-암석 반응이나 풍화변질작용이 비교적 활발하고 충분히 진행되지 못한 것으로 볼 수 있다.

규소와 칼슘간의 결정계수는 0.979로서 매우 높게 나타나는데 이들은 사장석이나 휘석, 각섬석류에서 비교적 풍부하게 포함되기 때문이다. 상관성이 높게 나타나는 것은 광물 상태로 결정 내에 그대로 존재하기 때문이며, 이들이 물-암석반응에 의하여 규소나 칼슘이 용탈된 증거로 보기 어렵다. 만약 충분한 물-암석반응이 일어났다면 상관성은 매우 낮거나 거동의 유사성이 발견되기 어려웠을 것이다. 기타 여러 성분간의 상관계수를 고찰해 보더라도 물-암석반응이 비교적 충분히 일어난 것이라고 보기는 어려운 결과를 나타낸다.

특히 불소와 여러 성분간의 상관성은 매우 낮게 나타난다. 전암의 불소의 함량은 시료와 무관하게 거의 0.1% 내외 수준으로 낮게 나타난다. 이는 불소가 용탈되어 암석 내에서 그 함량이 낮게 나타난 것으로 보기 어렵다. 즉 현미경상에서 관찰한 바에 따르면 신선한 화강암

에서도 운모나 수산화기(OH)를 갖는 함철, 함마그네슘 광물의 함량은 매우 낮게 나타난다. 연구지역의 화강암 질암은 대부분 우백질 화강암류에 속한다. 불소를 치환하기 쉬운 수산화기를 갖는 광물로는 각섬석, 흑운모, 백운모류가 있으나 본 암석에서는 흑운모나 백운모가 매우 적게 함유되어 있어서 이들이 물-암석반응에 따라 용해되어 용탈되어 지하수로 이동했다고 보기는 어렵다. 우리나라의 불소 고함량지하수의 경우 불소가 풍부한 화강암류 분포지역에서 잘 나타나며, 수질, 지하수의 연령, 심도, 지질구조와도 연관된다(Kim and Jeong, 2005). 전국의 먹는샘물 지하수에서 불소는 평균 0.50 mg/l를 나타낸다(한국자원연구소, 2000; 조병욱 외, 2002). 이종운 외(1997)에 의하면, 지표수(0.145 mg/l)와 천부지하수(0.074 mg/l)사이에서만 함량차이를 보이고 있지 않을 뿐 중간지하수(0.500 mg/l) 및 심부지하수(2.561 mg/l)를 비롯하여 각 심도별로 유의한 차이를 나타내고 있으며 심부로 갈수록 함량이 높게 나타난다.

**수질과 분포 암석과의 상관성 분석**

조사지역의 지하수공에 대하여 먹는물 수질검시기준에 대하여 분석한 자료를 종합적으로 상관 분석한 결과 지하수의 암종과 상관성이 다소 있는 항목은 수소이온농도, 경도, 증발잔류물 등이며, 이외의 항목은 상관성이 거의 없는 것으로 분석되었다(Table 1).

전체적으로 경도와 증발잔류물간의 상관성이 0.95로 매우 높게 분석되었으며 다음으로 경도 대 황산이온, 증발잔류물 대 황산이온 등이 높게 나타난다. 탁도는 과망간, 철, 알루미늄과 상관성이 다소 있는 것으로 분석되었으며, 이외 이온들 간에는 철과 망간 및 알루미늄이 상관성이 조금 있는 것으로 분석되었다. 이외의 항목은 거의 상관성이 없는 것으로 분석되었다.

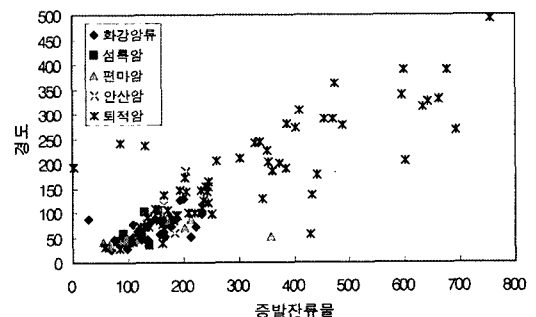


Fig. 1. Relationship between hardness and the evaporation residue.

**Table 1.** The correlation analysis result against research samples (all research areas).

r	Rock Type	Depth (m)	pH	Tur.	Hard.	SS	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> -N	KMnO <sub>4</sub> Cons.	Zn	Fe	Mn	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Al
Rock Type	1.00														
Depth(m)	-0.24	1.00													
pH	0.42	-0.07	1.00												
Tur.	0.06	-0.10	-0.07	1.00											
Hard.	0.45	0.03	0.12	-0.01	1.00										
SS	0.43	0.07	0.16	0.06	0.95	1.00									
F <sup>-</sup>	-0.13	0.18	0.12	-0.02	-0.05	-0.03	1.00								
Cl <sup>-</sup>	0.24	-0.26	0.07	0.09	0.15	0.22	0.10	1.00							
NO <sub>3</sub> -N	-0.18	0.04	-0.33	-0.04	0.07	0.09	-0.13	0.13	1.00						
KMnO <sub>4</sub> Cons.	0.21	-0.03	0.05	0.50	0.07	0.11	-0.05	0.13	-0.05	1.00					
Zn	0.05	0.03	-0.02	-0.03	-0.08	-0.07	-0.11	0.09	-0.09	0.01	1.00				
Fe	-0.03	-0.15	-0.27	0.44	0.11	0.13	-0.11	0.05	0.12	0.12	-0.06	1.00			
Mn	-0.09	0.00	-0.14	0.08	0.02	0.05	0.01	0.14	0.00	0.13	0.00	0.30	1.00		
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.27	0.19	0.08	-0.03	0.81	0.77	0.03	-0.02	-0.06	0.02	-0.06	0.03	0.02	1.00	
Al	-0.08	-0.02	-0.10	0.49	-0.07	0.00	0.07	-0.02	0.09	0.27	-0.09	0.30	-0.04	-0.05	1.00

\*r : Pearson correlation coefficient

Fig. 1.에서 보듯이 화강암, 섬록암, 안산암류, 변성암류의 경우 증발잔류물에 대한 경도가 좌측하단부에 모여 분포하는 특징을 나타내나 퇴적암에서는 비교적 높은 값에 주로 분포하는 것으로 확인된다.

Fig. 2는 심도에 대한 수소이온농도의 분포도로서 심도에 따른 수소이온농도의 상관성은 0.07로 거의 없는 것으로 나타났으며 먹는물 수질의 수소이온농도는 개발 심도에 대한 영향은 없을 것으로 판단된다. Fig. 3은 증발잔류물에 대한 질산성질소 분포도로서 화성암류(화강암, 안산암, 섬록암 등)는 증발잔류물이 100~200범위 내에서 분포하고 있으며, 이에 비하여 퇴적암류는 전체적으로 우측으로 치우쳐 분포하는 특성을 보이며, 화성암류에 비하여 상대적으로 높은 상관성을 보이는 것으로 나타난다. 또한 염소 역시 질산성질소와 유사하게 분포한다.

### 암종별 수질과의 상관관계 분석

#### 화강암류

화강암류의 수질항목에 대하여 상관성분석을 한 결과 수소이온농도와는 증발잔류물, 질산성질소 등이 다소 역상관성을 보인다(Table 2). 심도에 대해서는 탁도가 다소 역상관성을 나타내며 탁도에 대해서는 염소이온, 철, 망간 등이 상관성을 보인다. 경도는 증발잔류물, 염소, 철 등이 다소 상관성을 나타내며, 증발잔류물 대 질산성질소, 망간이 다소 상관성을 보이는 것으로 분석되었다.

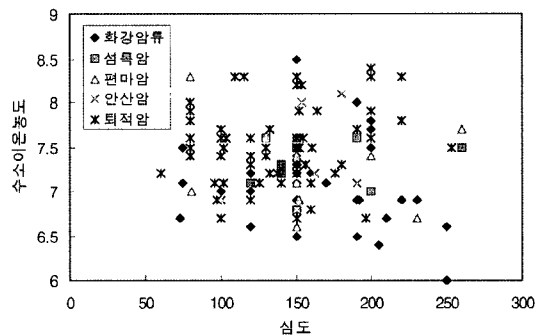


Fig. 2. Relationship between pH and well depths.

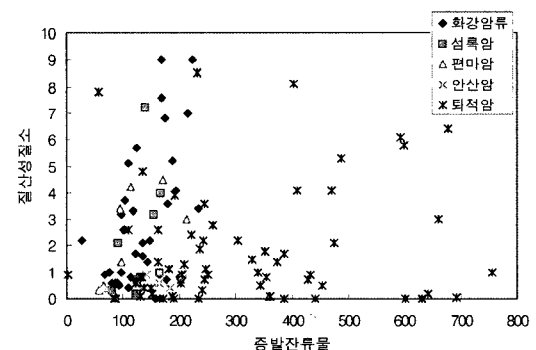


Fig. 3. Relationship between nitrate nitrogen and evaporation residue.

염소이온은 질산성질소, 망간, 황산이온 등과 상관성을

**Table 2.** The correlation analysis of water quality in the granite area.

r	Rock Type	Depth (m)	pH	Tur.	Hard.	SS	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> -N	KMnO <sub>4</sub> Cons.	Zn	Fe	Mn	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Rock Type	1.00													
Depth(m)	-0.19	1.00												
pH	-0.28	-0.11	1.00											
Tur.	0.07	-0.27	0.12	1.00										
Hard.	0.17	-0.41	0.25	0.57	1.00									
SS	0.11	0.24	-0.12	-0.22	-0.16	1.00								
F <sup>-</sup>	0.00	-0.32	0.45	0.38	0.29	-0.06	1.00							
Cl <sup>-</sup>	0.12	-0.37	0.10	0.14	0.50	-0.19	0.53	1.00						
NO <sub>3</sub> -N	-0.17	-0.25	0.34	0.25	0.17	-0.19	0.17	0.11	1.00					
KMnO <sub>4</sub> Cons.	-0.17	-0.04	0.10	0.22	0.14	-0.13	0.06	-0.12	0.45	1.00				
Zn	-0.08	-0.24	0.51	0.38	0.31	-0.16	0.14	-0.06	0.03	0.07	1.00			
Fe	-0.06	-0.19	0.74	0.31	0.39	-0.08	0.35	0.01	0.22	0.10	0.51	1.00		
Mn	-0.02	-0.08	0.27	0.16	0.03	-0.08	0.44	-0.22	-0.01	0.12	0.29	0.28	1.00	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-0.06	-0.18	0.23	-0.12	0.09	0.11	0.17	0.34	0.15	-0.12	0.05	-0.07	-0.08	1.00

\*r : Pearson correlation coefficient

나타낸다. 질산성질소는 알루미늄과 다소 상관성을 나타낸다. 과망간은 아연과 상관성을 보이며, 철은 망간과 상관성을 보이는 것으로 분석된다.

**섬록암류**

섬록암류 기반암 지역의 지하수에 대하여 수질과 상관성 분석한 결과 심도는 탁도, 경도, 증발잔류물, 염소, 철, 황산이온과 높은 상관성을 보이며, 수소이온농도 대 불소, 아연, 철, 망간, 황산이온, 알루미늄이 다소 상관성이 있는 것으로 분석되며, 탁도 대 증발잔류물, 염소, 질

산성질소, 철, 망간, 알루미늄 등이 상관성이 있는 것으로 분석되었다(Table 3).

경도는 증발잔류물, 황산이온과 상관성이 있으며 증발잔류물은 불소, 철, 황산이온, 알루미늄과 상관성이 높다. 또한 불소는 철과 알루미늄과 매우 높은 상관성을 나타내며, 염소는 질산성질소, 황산이온과 높은 상관성을 보이는 것으로 분석된다. 과망간은 망간과 상관성을 나타내며, 아연은 철과 황산이온과 상관성을 보이며, 철은 황산이온, 알루미늄과 상관성을 나타내며, 망간은 알루미늄과 상관성을 보인다.

**Table 3.** The correlation analysis of water quality in the diorite area.

r	Rock Type	Depth (m)	pH	Tur.	Hard.	SS	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> -N	KMnO <sub>4</sub> Cons.	Zn	Fe	Mn	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Rock Type	1.00													
Depth(m)	0.21	1.00												
pH	0.66	0.39	1.00											
Tur.	0.54	0.30	0.04	1.00										
Hard.	0.75	0.23	0.59	0.57	1.00									
SS	0.22	0.41	0.06	0.16	0.42	1.00								
F <sup>-</sup>	0.57	0.14	0.75	0.05	0.16	-0.31	1.00							
Cl <sup>-</sup>	0.32	0.11	0.77	-0.09	0.39	-0.19	0.68	1.00						
NO <sub>3</sub> -N	0.29	0.20	0.20	0.03	-0.18	-0.28	0.58	0.38	1.00					
KMnO <sub>4</sub> Cons.	-0.34	-0.50	-0.11	-0.38	0.02	-0.20	-0.33	0.15	-0.31	1.00				
Zn	0.66	0.48	0.53	0.24	0.53	0.72	0.27	-0.02	-0.11	-0.43	1.00			
Fe	-0.04	0.48	-0.06	-0.15	-0.22	0.38	0.02	0.05	0.65	-0.24	0.12	1.00		
Mn	0.85	0.42	0.64	0.43	0.56	0.17	0.50	0.08	0.11	-0.47	0.75	-0.14	1.00	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.33	0.57	0.23	0.17	0.41	0.96	-0.09	-0.11	-0.13	-0.33	0.84	0.45	0.34	1.00

\*r : Pearson correlation coefficient

**Table 4.** The correlation analysis of water quality in the gneiss area.

r	Rock Type	Depth (m)	pH	Tur.	Hard.	SS	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> -N	KMnO <sub>4</sub> Cons.	Zn	Fe	Mn	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Rock Type	1.00													
Depth(m)	-0.20	1.00												
pH	-0.27	0.53	1.00											
Tur.	0.30	-0.22	0.02	1.00										
Hard.	-0.21	0.31	0.44	0.55	1.00									
SS	0.20	0.14	-0.50	0.19	-0.25	1.00								
F <sup>-</sup>	-0.09	-0.45	-0.19	0.49	0.03	0.02	1.00							
Cl <sup>-</sup>	0.09	-0.55	-0.22	0.54	0.02	0.05	0.91	1.00						
NO <sub>3</sub> -N	0.48	-0.63	-0.36	0.09	-0.36	-0.24	0.37	0.56	1.00					
KMnO <sub>4</sub> Cons.	0.41	-0.31	-0.12	-0.05	0.00	-0.37	-0.47	-0.30	0.38	1.00				
Zn	0.00	0.38	0.63	0.51	0.90	-0.31	-0.20	-0.15	-0.33	0.10	1.00			
Fe	-0.47	0.66	0.47	-0.01	0.80	-0.26	-0.21	-0.30	-0.56	-0.16	0.66	1.00		
Mn	-0.16	-0.30	-0.27	0.55	0.17	0.17	0.94	0.81	0.24	-0.49	-0.13	-0.05	1.00	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-0.48	0.62	0.52	-0.05	0.77	-0.35	-0.17	-0.26	-0.54	-0.17	0.63	0.98	-0.05	1.00

\*r : Pearson correlation coefficient

**Table 5.** The correlation analysis of water quality in the andesite area.

r	Rock Type	Depth (m)	pH	Tur.	Hard.	SS	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> -N	KMnO <sub>4</sub> Cons.	Zn	Fe	Mn	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Rock Type	1.00													
Depth(m)	0.41	1.00												
pH	-0.77	0.01	1.00											
Tur.	-0.37	-0.74	-0.15	1.00										
Hard.	0.02	-0.34	-0.01	0.55	1.00									
SS	0.45	0.94	0.07	-0.67	-0.03	1.00								
F <sup>-</sup>	-0.28	-0.76	0.17	0.17	-0.08	-0.73	1.00							
Cl <sup>-</sup>	-0.61	-0.90	0.15	0.71	0.30	-0.89	0.58	1.00						
NO <sub>3</sub> -N	-0.01	0.66	0.01	-0.38	-0.75	0.40	-0.50	-0.58	1.00					
KMnO <sub>4</sub> Cons.	-0.16	-0.13	-0.33	0.70	0.29	-0.20	-0.51	0.29	0.13	1.00				
Zn	0.02	-0.51	0.04	-0.11	-0.23	-0.49	0.93	0.24	-0.35	-0.71	1.00			
Fe	-0.80	-0.44	0.85	0.09	-0.02	-0.38	0.64	0.46	-0.23	-0.42	0.47	1.00		
Mn	-0.31	-0.43	0.54	-0.08	0.05	-0.28	0.80	0.23	-0.42	-0.74	0.81	0.81	1.00	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-0.17	0.26	-0.08	-0.26	-0.86	-0.09	-0.16	-0.07	0.75	0.18	-0.15	-0.15	-0.44	1.00

\*r : Pearson correlation coefficient

### 편마암류

Table 4는 편마암류와 수질결과에 대하여 상관 분석한 결과로서 심도 대비 아연, 망간, 알루미늄이 다소 상관성을 나타내며, 심도에 따라 pH, 불소, 황산이온, 경도, 증발잔류물 등은 상관성이 낮다. 수소이온농도는 탁도, 질산성질소, 과망간, 망간, 알루미늄 등과 약한 상관성을 보인다. 탁도는 수소이온농도, 증발잔류물, 철, 망간, 알루미늄 등의 성분과 상관성이 보이며, 경도 역시 증발잔류물, 황산이온 등과 상관성이 크다. 특히 염소는 질산성질소, 황산이온과는 0.9 이상의 높은 상관성을 보인다.

### 안산암류

안산암류에서는 탁도와 망간 및 황산이온이 상관성이 있으며 불소는 염소, 질산성질소 등과 상관성이 크다. 심도와 수소이온농도, 불소 등이 상관성이 있으며, 탁도, 불소, 망간 등은 역 상관관계를 보인다. 특이한 점은 심도와 증발잔류물과의 상관관계가 거의 없다는 것이며 증발잔류물, 황산이온 등의 상관관계는 큰 것으로 나타났다(Table 5). 심도가 깊을수록 탁도, 질산성질소, 망간은 감소하는데 이는 천부지하수일수록 외부로부터 오염물이 쉽게 유입됨을 의미한다. 불소와 pH는 상관계수가

**Table 6.** The correlation analysis of water quality in the sedimentary rocks area.

r	Rock Type	Depth (m)	pH	Tur.	Hard.	SS	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> -N	KMnO <sub>4</sub> Cons.	Zn	Fe	Mn	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Rock Type	1.00													
Depth(m)	0.19	1.00												
pH	-0.10	-0.15	1.00											
Tur.	0.24	-0.09	-0.05	1.00										
Hard.	0.29	-0.02	0.03	0.94	1.00									
SS	0.26	0.19	-0.01	0.03	0.08	1.00								
F <sup>-</sup>	-0.29	-0.01	0.06	0.01	0.11	0.29	1.00							
Cl <sup>-</sup>	-0.12	-0.25	-0.05	0.18	0.17	-0.20	0.15	1.00						
NO <sub>3</sub> -N	0.02	-0.04	0.56	-0.06	0.02	0.05	0.07	-0.11	1.00					
KMnO <sub>4</sub> Cons.	-0.01	0.05	-0.04	-0.12	-0.12	-0.10	0.14	-0.05	-0.07	1.00				
Zn	-0.29	-0.41	0.52	0.13	0.14	-0.11	0.05	0.22	0.19	-0.08	1.00			
Fe	0.07	-0.01	0.06	0.11	0.16	0.30	0.40	-0.14	0.29	0.00	0.03	1.00		
Mn	0.41	-0.06	-0.05	0.81	0.76	0.14	-0.11	-0.05	-0.06	-0.08	0.03	0.11	1.00	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.04	-0.17	0.79	-0.06	0.01	0.02	-0.01	-0.08	0.49	-0.07	0.48	0.00	-0.04	1.00

\*r : Pearson correlation coefficient

0.94로서 상당히 관련성이 있음을 보여준다.

**퇴적암류**

Table 6은 퇴적암류에서는 탁도와 과망간이 어느 정도 상관성이 있으며, 모든 암종에서처럼 퇴적암에서도 경도, 증발잔류물, 황산이온의 상관성은 매우 크다. 경도는 증발잔류물과 0.94의 상관계수를 보이며, 황산이온과는 0.81을 보인다. 특히 탁도와 알루미늄간 상관계수는 0.79로 나타나 비교적 높다. 퇴적암 지역에서 혼한 세일의 경우 점토질의 극미립질 입자가 특징적이므로 이들이 여과지를 쉽게 통과하거나, 또는 점토입자는 높은 비표면적을 가지므로 물-암석반응 동안 용해되기 쉬우므로 탁도가 높은 지하수에 알루미늄이 포함되는 것으로 볼 수 있다.

**결 론**

농촌생활용 지하수 중에서 거창(33개), 합천(57개), 창녕(36개)지역 총126개를 조사한 결과, 거창, 합천에 분포하는 화강암류, 섬록암류, 편마암류에서는 불소함량이 음용수 기준에 부적합한 경우가 많다. 특히 합천, 창녕의 경우, 경도, 증발잔류물, 황산이온 등이 수질기준을 초과하는 경우가 흔하다. 암종과 수질과의 상관성을 분석한 결과 불소는 섬록암류에서는 철과 알루미늄, 안산암류에서는 염소와 질산성 질소의 상관성이 크다. 경도, 증발잔류물, 황산이온 등은 화강암을 포함한 모든 암종

에서 서로 높은 상관성을 나타내며 특히, 퇴적암에서 더욱 밀접한 관계를 나타낸다. 암반지하수 수질은 심도가 깊어짐에 따라 물-암석과의 반응을 많이 거치면서 일반적으로 불소, 경도, 증발잔류물, 황산이온 등이 증가하지만, 본 연구에서는 공 심도와 수질결과와의 상관성은 미약한 것으로 나타났다. 이는 본 지역 대수층의 수리지질학적 요소가 복잡하거나, 심도에 따른 물-암석반응의 경로에 일관성이 결여되었기 때문인 것으로 보인다.

**사 사**

암석의 XRF분석과 불소분석은 한국기초과학지원연구원 서울분소에서 수행되었다. 이 논문은 2006년도 안동대학교 특성화 추진 지원사업에 의하여 연구되었다.

**참 고 문 헌**

건설교통부, 2001, 한국수자원공사, 지하수조사연보.  
 국립지질조사소, 1964, 한국지질도 거창도폭 1:250000.  
 국립지질조사소, 1964, 한국지질도 합천도폭 1:250000.  
 국립지질조사소, 1964, 한국지질도 창녕도폭 1:250000.  
 이종운, 전효택, 전용원, 1997, 국내 화강암질암 내 심부 지하수의 지구화학적 특성, 지하수환경학회지 4, 199-211.  
 조병욱, 이병대, 이인호, 추창오, 2002, 국내 먹는 샘물의 특정 수질 항목에 대한 고찰, 지질공학, 12, 395-404.  
 한국자원연구소, 2000, 먹는샘물 관리시스템 구축연구 (III), 환경부/한국자원연구소, 271p.  
 Bank, D., Reimann, C., Royset, O, Skarphagen, H. and



- Saether, O. M., 1995, Natural concentrations of major and trace elements in some Norwegian bed-rock groundwaters, *Appl. Geochem.*, 10, 1-16.
- Chebotarev, I. I., 1955, Metamorphism of natural waters in the crust of weathering, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 8, 22-48.
- Drever, J. L., 1988, *The Geochemistry of Natural Waters*, Prentice Hall, 437p.
- Freeze, R. A. and Cherry, J. A., 1979, *Groundwater*, Prentice-Hall, 604p.
- Kim, K. and Jeong, G. Y., 2005, Factors influencing natural occurrence of fluoride-rich groundwaters: a case study in the southeastern part of the Korean Peninsula, *Chemosphere*, 58, 1399-1408.
- Nordstrom, D. K., Ball, J. W., Donahoe., R. J. and Whittemore, D., 1989, Groundwater chemistry and water-rock interactions at Stripa, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 53, 1727-1740.
- Stumm, W. and Morgan, J. J. 1996. *Aquatic Chemistry*, John Wiley and Sons, Inc. New York, 1022p.
- White, A. F. and Brantley, S. L., 1995, Chemical weathering rates of silicate minerals: An overview, In: A. F. White and S. L. Brantley (editors), *Chemical Weathering Rates of Silicate Minerals*, *Reviews in Mineralogy*, 31, 1-22.

#### 박상주

한국농촌공사 경상남도본부 환경지질팀  
641-733 경남 창원시 용호동 8-3  
Tel: 055-269-9361  
Fax: 055-261-8612  
E-mail: tethy5984@daum.net

#### 김미아

안동대학교 환경공학과  
760-749 경북 안동시 송천동 388  
Tel/Fax: 054-820-6267  
E-mail: wdream@andong.ac.kr

#### 추창오

안동대학교 지구환경과학과  
760-749 경북 안동시 송천동 388  
Tel: 054-820-5182  
Fax: 054-822-5467  
E-mail: mordenite@hanmail.net

#### 정교철

안동대학교 지구환경과학과  
760-749 경북 안동시 송천동 388  
Tel: 054-820-5753  
Fax: 054-822-5467  
E-mail: jeong@andong.ac.kr

---

2007년 8월 7일 원고접수, 2007년 9월 15일 게재승인

#### 김종태

안동대학교 지구환경과학과  
760-749 경북 안동시 송천동 388  
Tel: 054-820-5182  
Fax: 054-822-5467  
E-mail: jongtae98@empal.com