

## 태백시 황지용해공동의 수리지구화학적 연구

김용철<sup>1</sup> · 김유홍<sup>1</sup> · 고동찬<sup>1</sup> · 이진용<sup>2</sup> · 염병우<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국지질자원연구원

<sup>2</sup>지오그린21

e-mail: yckim@kigam.re.kr

### 요 약 문

Occurrence of Hwangji pond in Taebaek karst area was investigated in various hydrogeochemical ways and it is found out that there are underground cavern network and sinkholes under the pavement of Taebaek city. It is partially proved by dye tracing method.

**key word** : Hwangji pond, karst, solution conduit, dye tracing method

### 1. 서론

석회암 지역 지하수는 석회암 동굴, 카르스트 지형 등 여러 가지 요인에 의해 대규모 용수원으로서 개발 가능성이 클 뿐 아니라 지하수의 유동 및 이동경로 등의 특성에 있어서 다른 결정질암 층과는 상이하므로 지하수 분야의 주요 연구대상이다. (Beck and Herring, 2001; 한국수자원공사, 1998; Fetter, 1994) 우리나라 강원 남부 태백 지역의 대석회암 지역은 과거 고생대 천해의 환경에서 퇴적된 곳으로, 용연동굴과 같은 석회암 동굴과 돌리네, 크고 작은 샘이 잘 발달한 전형적인 카르스트 지형이다. 태백시에는 낙동강의 발원지로 알려진 황지연못이 시내 중심에 발달해 있다. 이번 연구에서는 태백시 황지연못의 발달양상과 카르스트 지형과의 관계 및 황지연못 지하수 공급원의 대한 다양한 연구를 수행하였다.

### 2. 연구 과정 및 결과

황지연못의 발달 양상 및 지하수 공급원을 파악하기 위해서 태백시의 황지연못을 중심으로 이곳에 영향을 주는 것으로 판단되는 소유역 경계내에 대하여 1) 정밀지질조사, 2) 지화학적 조사, 3) 형광물질을 이용한 추적자 시험 그리고 4) 지하수위 및 하천수량 모니터링을 5개월 동안 조사하였다.

태백시 주변의 지질은 하부고생대의 조선누층군, 상부고생대-트라이아스기의 평안누층군, 그리고 백악기의 경상누층군이 분포한다. 하부 고생대의 조선누층군은 본 지역에서 기반암을 형성하고 있으며, 후술할 평안누층군에 의해서 부정합으로 피복된다.

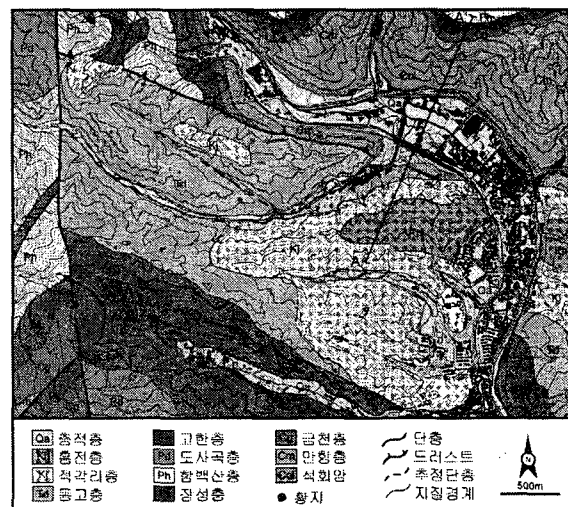


그림 1 연구지역의 지질도 및 지질구조

이 지역에 발달한 황지드러스트는 서북서 주향방향의 드러스트로 이 단층을 따라서 고생대의 조선누층군과 평안누층군이 트라이아스기의 동고층 상위로 1.5 km 이상 상승하였으며, 경사각은 70° 이상의 비교적 고각으로 보고되었다. (김

과 원, 1987) 조선누층군의 석회암은 회색 내지 담회색의 엽리상 또는 괴상의 석회암과 돌로마이트질 석회암으로, 석회암 내의 층리는 황지동 부근에서는 정상위로 북동쪽 경사를 보이나, 황지드러스트 부근에서는 층서가 역전되어 평안누층군의 만항층 상위에 분포하며, 거의 수직내지 북동쪽으로 고각으로 경사한다. 이러한 특징은 황지드러스트를 따른 상반배사구조를 지시한다. 조선누층군을 부정합으로 덮는 평안누층군은 최하부인 만항층의 하부는 역암 및 역질 사암이 우세하며 수매의 석회암이 협재하기도 하는데, 이 부정합 경계면이 황지연못을 발달하게 하는 지하 용해 공동의 발달과 관련된 것으로 추정된다.

조사 지역의 지하수는 대체로 pH는 7 - 8, EC는 200 - 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위를 가진다. TS1과 TG8은 매우 낮은 EC를 보여 지질매체와의 반응이 거의 없었음을 지시한다. TG5는 반면 가장 높은 EC를 보이는데 NO<sub>3</sub> 함량이 낮은 것으로 보아 자연적인 수질 진화에 의해 이온 농도가 높은 것으로 보인다. 수질 진화의 지시자로 알칼리도 (HCO<sub>3</sub> 농도로서)를 이용하고, 인위적인 오염의 지시자로 NO<sub>3</sub>를 이용하여 도시하여 보면 지질매체와의 반응에 의한 영향과 오염의 영향을 동시에 고려하여 수질 특성을 구분할 수 있다. TG8과 TS1은 낮은 HCO<sub>3</sub>와 NO<sub>3</sub> 농도를 보여 오염이나 수질 진화가 거의 일어나지 않아 강수에 가까운 조성이라고 할 수 있다. TG1의 경우는 다른 지하수에 비해 월등히 NO<sub>3</sub> 함량이 높아 인위적 오염의 영향을 강하게 받고 있음을 시사한다. 한편 TG5는 가장 높은 HCO<sub>3</sub> 함량을 보이고 NO<sub>3</sub> 농도는 매우 낮아 지질매체와의 반응이 가장 많이 수질에 영향을 준 것으로 보인다. 나머지 지하수들은 크게 TG2, 3, 4 군과 황지, TG6,7,10군의 두 군으로 나눌 수 있다. 전자는 후자에 비해 상대적으로 HCO<sub>3</sub> 함량이 낮아 수질 진화 정도가 약하다고 할 수 있다.

성지목욕탕 지하수 관정을 통해 약 250 mg/L의 fluorescein (uranine) 형광물질 용액 2톤을 주입하고, 황지연못 세 지점에서 농도변화를 관찰하였다. 농도이력곡선의 분포에서 주입 후 약 2.26일(3,255분) 경과시부터 황지못에서 추적자 검출이 시작되었다. 추적자 검출이 시작되고 최고농도까지 도달하기 까지 걸리는 시간은 약 1.49일이며, 이때의 농도는 황지못-3 지점에서 약 138  $\mu\text{g}/\text{L}$ 로 검출되었다. 황지못에서 검출된 추적자의 최고 농도는 추적자 주입농도(250 mg/L)의 약  $5.52 \times 10^{-4}$ 배로서, 주입 후 황지못에 도달하기 까지 약 1,800배의 희석효과가 나타났다. 추적자 이동시간은 농도이력 곡선의 질량 중심(center of mass)으로 판단할 때, 약 3.74일(4,450분)가량 소요되는 것으로 나타났다. 추적자 주입지점인 성지목욕탕에서 황지못까지 거리가 약 2.2km이므로

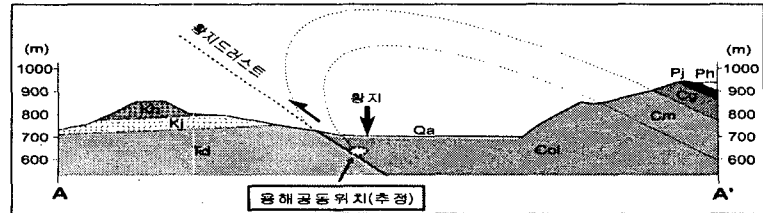


그림 2 지질도의 A-A' 단면도 및 추정 용해공동의 위치 (추정된 공동의 크기는 실제와 다름)

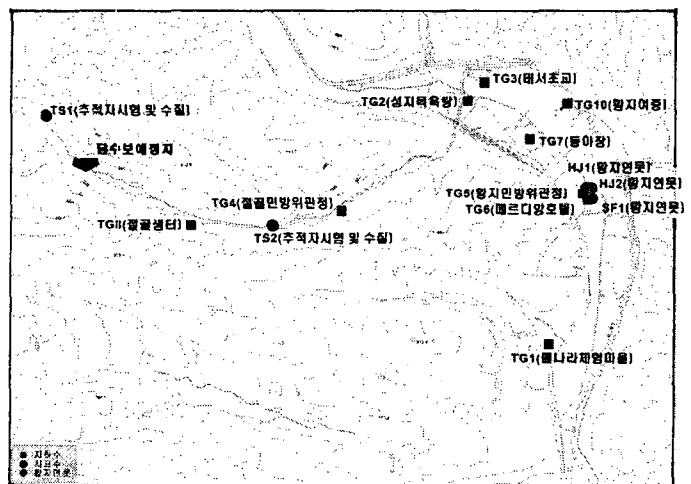


그림 3 location map of sample collection

추적자가 지하수흐름을 따라 이동하였을 때, 이 지역의 지하수 흐름의 속도는 약 0.49 m/min으로 추정된다. 추적자의 농도가 최고 농도에 도달한 이후 다시 원래의 배경농도로 회복 될 때까지 걸리는 시간은 약 6.35일 정도로서 추적자 검출 시작 후, 최고 농도에 도달하기 까지 걸리는 시간(1.49일)에 비해 약 4.28배 정도의 지연(retardation)이 발생되었다. 추적자의 최고 농도 도달 시간을 고려할 때 추적자의 이동 속도는 약

0.49 m/day로 일반적인 지하 다공질 또는

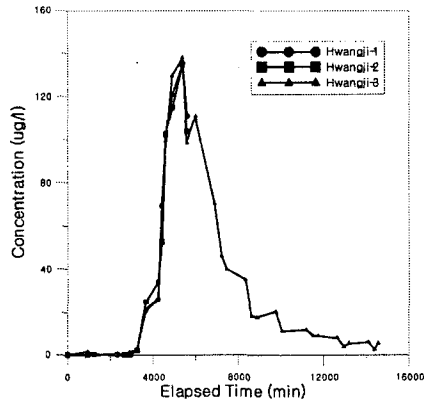


그림 5 황지연못에서 관찰한 uranine의 농도 이력곡선

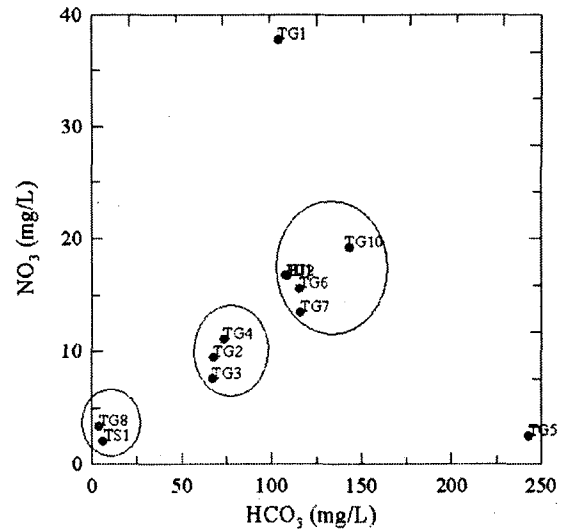


그림 4 HCO<sub>3</sub> vs NO<sub>3</sub>

단열암반매질로는 불가능하며 공동이나 단층대와 같은 흐름 속도가 빠른 매질을 통하여 연결되었을 가능성이 높다. 또한 연못에 가까운 거리에 있는 대우장여관과 동아장의 관정에서 녹색의 uranine이 검출되지 않았다는 점은 황지연못으로 연결된 지하 용해공동이 단순한 단일 파이프구조가 아니라, 용해공동망구조로 발달되어 있는 것으로 판단된다.

### 3. 결론 및 고찰

대백시 서북서 주향방향의 트러스트 단층(황지트러스트)은 압축력에 의한 단층으로서 지하수 흐름에 장애 역할을 하는 반면, 이 트러스트 상반배사구조 내의 고생대 석회암층과 중생대 만항층 사이의 부정합경계는 지하수 흐름의 통로역할을 한다. 이 경계를 흐르는 이산화탄소를 포함하는 약산성의 지하수에 의해 석회암이 용해되면서 지하에 용해공동을 만든 것으로 추정되며, 이 공동이 황지연못 근처로 가면서 지표에 점점 가까워지는 것으로 보아 지금의 황지연못에서 지표의 약한 곳을 뚫고 나와 샘을 만든 것으로 보인다. 이러한 추론은 형광물질을 이용한 추적자 시험을 통하여 일부 검증되었으나, 황지용해공동의 3차원 발달양상을 보다 정확하게 파악하기 위해서는 진보된 지구물리탐사기법을 이용하여 조사할 필요가 있다.

### 4. 참고문헌

1. 김정환, 원종호, 1987, 삼척광전 황지일대의 지질구조연구, 지질학회지 제 23권 제 2호, pp 136-144.
2. 한찬, 김형수, 김규범, 이찬진, 이강근, 1998, 석회암 지역 지하수 거동 특성 연구, 한국수자원공사 수자원연구소, p. 134.
2. Fetter, C.W., 1994, Applied Hydrogeology (3rd ed.), Mcmillan college publishing company, p. 691.
3. Beck, B.F. and J. G. Herring, 2001, Geotechnical and environmental applications of kasrstr geology and hydrology, Balkema pub., p. 437.