

수리지화학 및 통계학적 방법을 이용한 지하수의 해수영향 분석

조준희, 이현구*, 김통권, 고경석

한국지질자원연구원, *충남대학교 지질학과 (whakr-ch@hanmail.net)

<요약문>

해수 영향을 받은 연구지역 지하수의 특성을 수리지화학적 분석과 다변량 통계분석방법을 이용하여 고찰하였다. 수리지화학 분석 결과, 연구지역 지하수는 크게 해수와 경작 등에 의한 인간활동의 영향을 받고 있음을 알 수 있었다. Cl, Na, Mg, Ca, HCO₃, NO₃, SO₄, K, SiO₂, Sr의 농도값을 이용하여 군집 분석과 주성분 분석 결과, 연구지역의 지하수는 해수의 영향을 나타내는 Na, Cl에 의해 크게 영향을 받으며 3개의 그룹으로 나누어지고, 각 그룹별로 다른 특성을 보여줌을 알 수 있었다.

제시어 : 해수영향, 수리지화학, 군집분석, 주성분 분석,

1. 서론

최근 들어 산업 발달과 인구 증가에 따른 수자원의 수요 증가로 인하여 지하수의 무분별한 개발이 지속적으로 이루어졌다. 특히 해안 지역에서 이루어지는 지하수의 개발은 지하수위의 하강과 더불어서 해수의 담수로의 침입이 이루어져 지하수의 염수화가 진행된다. 해안 지역에서 이러한 해수의 침투는 수질의 저하를 발생시켜 이용가능한 지하수 자원을 감소시키게 된다. 따라서 본 연구에서는 해수 침투의 영향이 보고되는 영광지역의 해안주변에 설치된 관정과 시추공에서 지하수를 채취하여 그 영향을 분석하였다. 본 연구에서는 특히 여러 가지 지하수 성분을 변수로 하여 그 특징을 고찰하여 수리지화학적 정보를 해석하는데 목적을 두고 다변량 통계분석 중 군집 분석과 주성분 분석을 실시하였다.

2. 연구 방법 및 결과

조사지역의 수리지화학적 특징을 알아보기 위한 시료는 영광군 백수읍과 염수면에 소재하는 25개의 농업용 관정들과 한국자원지질 연구원에서 시추한 13개의 시추공에서, 38 개의 시료를 10m 깊이에서 채취하였다. 현장에서 온도(°C), 수소이온농도(pH), 산화-환원전위(Eh), 용존산소농도(DO), 알칼리도를 측정하였다. 주요 음이온과 양이온을 분석하기 위하여 시료를 여과한 후에 양이온은 산처리를 하고 음이온은 냉장보관한 후 실험실로 운반한 후 각각 이온크로마토그래피(IC; Dionex DX-120)와 유도결합플라즈마 원자흡광분석기(ICP-AES; Jobin-Yvon Geoplasma)를 이용하여 분석을 실시하였다.

군집분석은 여러 개체들을 어떤 성질에 따라 분류하여 동질적인 몇 개의 군집으로 분류하는 다변량 통계 분석방법이다. 그리고 주성분 분석은 자료의 요약이나 선형 관계식을 통하여 차수(dimension)를 감소시켜 해석을 용이하게 하는데 이용된다. 이 두 가지 통계 분석방법을 이용하여 연구지역 지하수의 해수영향을 알아보았다. 다변량 통계분석에는 Cl, Na, Mg, Ca, HCO₃, NO₃, SO₄, K, SiO₂, Sr의 농도 값을 사용하였다.

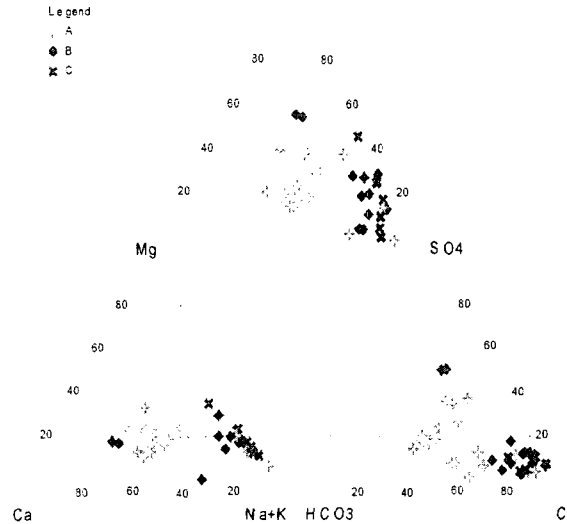


Fig. 1 Piper diagram of groundwater from the study area.

우선 다변량 통계분석 중에서 군집분석을 통해서 연구지역의 시료를 3개의 그룹으로 나누었다. 군집 분석을 바탕으로 연구지역의 수질 유형을 알아보기 위해 piper diagram(Fig 1)에 도시해보았다. 조사지역의 수질 유형은 크게 두 가지 유형으로 나뉘는 것을 볼 수 있다. 대체로 Ca²⁺- (HCO₃⁻+Cl⁻)에서 Na⁺-Cl⁻의 형태로 변화해가는 것을 볼 수 있다. 또한 그룹 A의 시료들은 대부분이 Ca²⁺- (HCO₃⁻+Cl⁻)의 형태를 나타내고 그룹 B와 C의 시료들은 일부 시료를 제외하고는 Na⁺-Cl⁻의 형태를 나타낸다.

일반적으로 지하수나 지표수에서 용존 물질에 가장 큰 영향을 주는 것은 Ca²⁺와 HCO₃⁻이다. 그러나 연구지역에서는 총 음이온이 적은 시추공의 시료는 상대적으로 HCO₃⁻의 영향을 많이 받지만 총 음이온이 많은 시추공에서는 Cl⁻과 SO₄²⁻의 영향이 상대적으로 더 우세한 것을 볼 수 있다. 총 양이온 역시 총 음이온과 마찬가지로 일반적인 지하수나 지표수에서는 Ca²⁺가 상대적으로 우세하게 나타나지만, 연구지역에서 많은 용존 물질을 갖는 시추공들은 Na⁺, K⁺와 Mg²⁺가 우세하게 나타난다.

주성분 분석에 의해 얻어진 초기 3개의 주성분은 전체 분산의 약 80%를 설명하고 있고, 그 중에서 주성분 1은 약 57%로 가장 높은 비율을 차지하고, 주성분 2는 11%, 주성분 3은 10%의 값을 갖는다. 그림 2에서 보는 것과 같이 주성분 분석에 사용된 원소 중 NO₃를 제외하고 주성분 1에 모두 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 그리고 주성분 3은 NO₃에 의해서 증가할 수 있고, SiO₂에 의해서 감소할 수 있다. 그림 3은 주성분 1과 2, 3의 관계를 각각 나타낸 것이다. 그룹 A, B, C가 뚜렷하게 나누어지는 것을 볼 수 있다. 그룹 C에서 A로 갈수록 주성분 1의 값이 커지고, 이것은 그룹 C의 시료들이 A의 시료들보다 해수의 영향을 더 많이 받고 있음을 나타낸다.

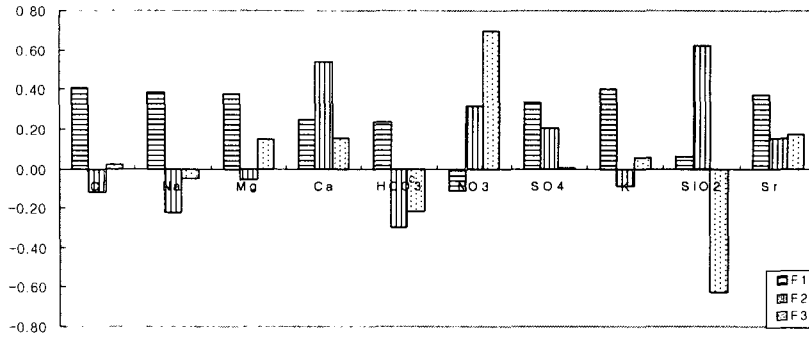


Fig. 2. Eigen vectors for the three principal components.

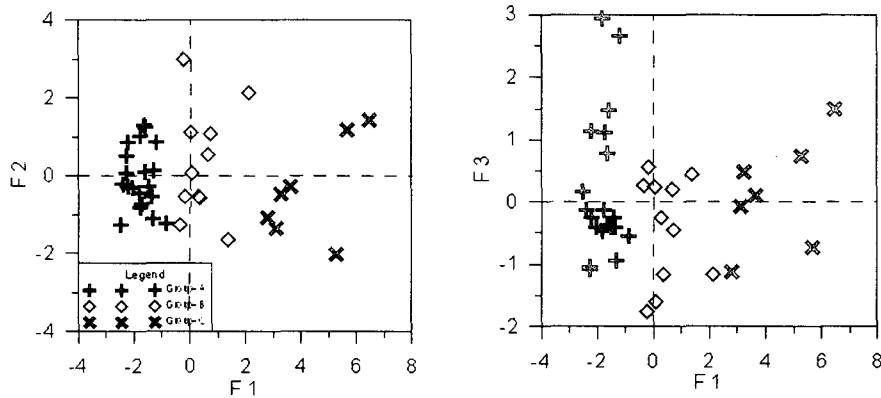


Fig. 3 Results of principal components analysis for groundwater.

3. 결론

연구지역의 시료는 군집 분석에 의해 총 3개의 그룹으로 나눌 수 있고, 그 특성이 뚜렷하게 나누어진 다. A 그룹의 시료들은 Ca^{2+} - ($HCO_3^-+Cl^-$)의 형태를 갖고 C 그룹으로 가면서 Na^+-Cl^- 의 형태로 변화 한다. 이러한 특성은 해수의 영향을 받은 관측공과 그렇지 않은 지하수 시료에 대한 정성적인 분석 결과를 제공할 수 있다. 또한 주성분 분석결과에 의하면 주성분 1은 Cl, Na, Mg, Ca, HCO_3 , SO_4 , K, SiO_2 , Sr의 영향을 받고, 따라서 전체 총용존고형물(TDS)에 영향을 준다. 연구지역의 시료는 C 그룹에서 A 그룹으로 갈수록 해수의 영향을 받고 있다고 할 수 있다. 따라서 본 연구 결과는 다변량 통계분석이 지하수에 있어 해수의 영향을 해석하는데 이용될 수 있음을 제시한다.

참고문헌

문상기, 우남철, 통계분석을 이용한 지하수위 변동 특성 분류, 한국지하수토양환경학회 추계 학술대회 발표초록, 2001.

함세영, 조명희, 성익환, 이병대, 조병욱, 심형수, 부산 남부지역 지하수와 서북부지역 지하수의 수리 화학적 특성 비교, 지하수환경학회지, 1999, Vol 6(3), 140-151

Davis, J.C., Statistical and data analysis in geology. Wiley, New York. 1986.

Francisco Sanchez-Martos, Antonio Pulido-Bosch, Luis Molina-Sanchez, Angela Vallejos-Izquierdo. Identification of the origin of salinization in groundwater using minor ions(Lower Andarax, Southeast Spain). The Science of the Total Environment 2002; 297: 43-58