

제주도 지하수 pH의 분포특성

Characteristics of pH Distribution in Jeju Groundwater

이용두¹ · 안중기² · 정차연²

제주대학교 토목환경공학전공¹ · 농업기반공사 제주본부²

<요약문>

본 연구는 제주지역 지하수의 수질특성중 pH에 주목하여 공간적 분포특성을 파악하였다. 먹는물 수질기준의 경우 pH는 5.8~8.5의 범위를 요구하고 있다. 제주지하수의 대부분은 이 범위내에 속하나 특정지역의 경우 상한선을 초과하는 경우도 있다. 이의 원인을 규명키 위한 기초적 조사로서 우선 공간적 분포 특성을 조사하였고, 조사결과 지하수위, 구성압질 및 오염원과의 명확한 상관성은 판단하기 어려우나 추후 연속적인 측정과 자료분석을 토대로 검토예정이다.

1. 서론

지하수질의 pH는 다양한 요인에 의해 좌우된다. 제주도의 경우 지역에 따라 상당히 높은 수치를 나타낸다. 본 연구에서는 분포특성을 파악하고 이의 규명을 위한 기초적인 조사를 수행하였다. 제주도 지하수 pH의 공간적인 분포특성과 그에 관련된 요인을 분석하기 위해 1998년의 지하수 수질 조사자료를 이용하였다. 이 수질자료는 150공에 대하여 pH, 전기전도도, 수온, 주요성분등을 측정 분석한 자료로 1998년 11월 24일에서 12월 10일까지 시료를 채취하였다. 시료채취시 관정내에 고여있는 물의 4~5배를 양수한 다음, 수온, pH, 전기전도도, 알칼리도 등의 항목을 측정하고 실내분석을 위한 시료를 채취하였다. 주요성분은 Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- 의 농도를 분석하였다. pH는 pH meter(Orion 701A), 전기전도도는 Electrical Conductivity meter (ATI Orion 128)로 현장에서 측정하였고 HCO_3^- 함량은 알칼리도 측정값을 이용하여 계산하였다. 알칼리도 측정은 현장에서 지시약(페놀프탈레인 용액 및 메틸오렌지-브롬크레졸그린 혼합용액)을 이용하여 산중화 적정하여 측정하였다. HCO_3^- 을 제외한 다른 성분에 대한 화학분석은 제주대학교 실험실에서 실시하였다. 주요 양이온(Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) 및 음이온(SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^-)의 정량분석은 Shimadzu사의 원자흡광분광광도계(모델 AA-6701)와 Dionex사의 이온크로마토그래피(모델 DX-100)을 이용하였다.

pH 분포특성을 검토하기 위해 pH분포도를 작성하고, 지하수 유동에 따른 pH와 수질의 변화과정을 분석하였다.

2. 연구결과 및 고찰

2.1 지하수의 pH 공간적 분포

수질조사 당시 측정된 pH 분포와 수질조사가 종료된 10일 이후부터 5일 동안 측정된 지하수위자료 ('98년 12월 21~12월26일)로 작성한 지하수위와 pH 분포는 그림 1과 같다. pH가 7.5미만으로 낮은 관정은 서부지역 남쪽 해안지역과 남부지역에 주로 분포하고 북부지역의 해안지역에 국지적으로 분포하고 있다. 이 지역을 제외한 서부지역 남쪽의 표고가 높은 지역, 서부지역 북쪽, 북부, 동부지역에는 대부분 pH가 7.50~7.99으로 비교적 높게 난다. 남부지역의 경우 북쪽이 대부분 7.50~7.99이지만 남쪽은 지하수위 20m 하류부는 6.49~7.49, 상류부는 7.5~7.99인 경향을 보인다. 축산단지의 수와 농경지분포비율이 높은 서부 남쪽지역은 해안지역의 pH가 낮은 반면 농경지가 주로 분포하는 북쪽지역은 pH가 남쪽 보다 높은 특성을 보이고 있다. pH가 8이상으로 높은 관정은 주로 해안에서 먼 내륙쪽에 주로 분포하고 있다.

pH와 수질조사공의 개발당시의 지하수위(지표면기준 지하수면깊이)와 pH 관계를 보면 지하수위가 낮아질수록 pH가 낮아지는 경향을 보이고 있다(그림 2). 지역적으로 볼 때 북부지역에서 가장 뚜렷한 경향을 보이지만, 남부지역의 경우 이런 경향이 거의 나타나지 않고 있다.

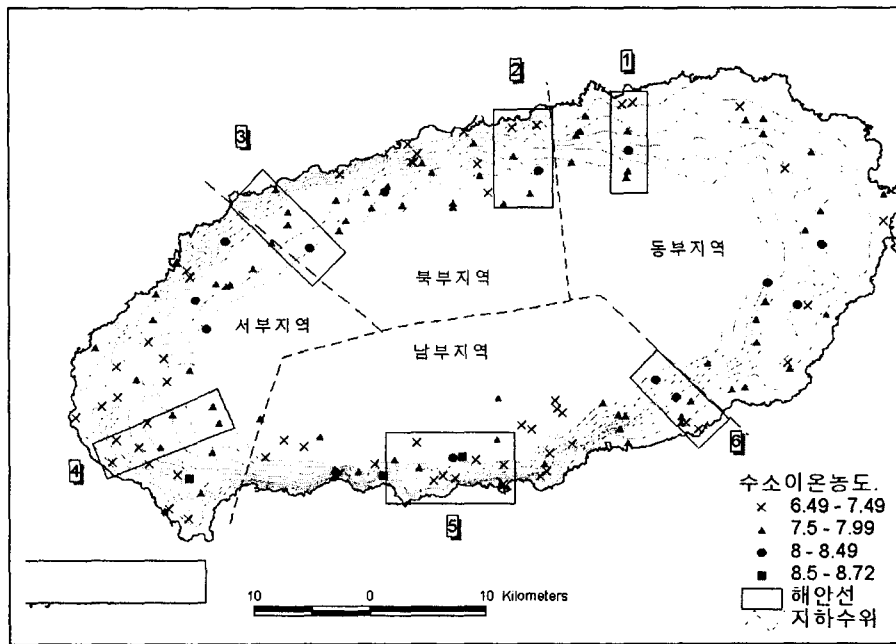


그림 1 수질조사 당시의 지하수위와 pH분포

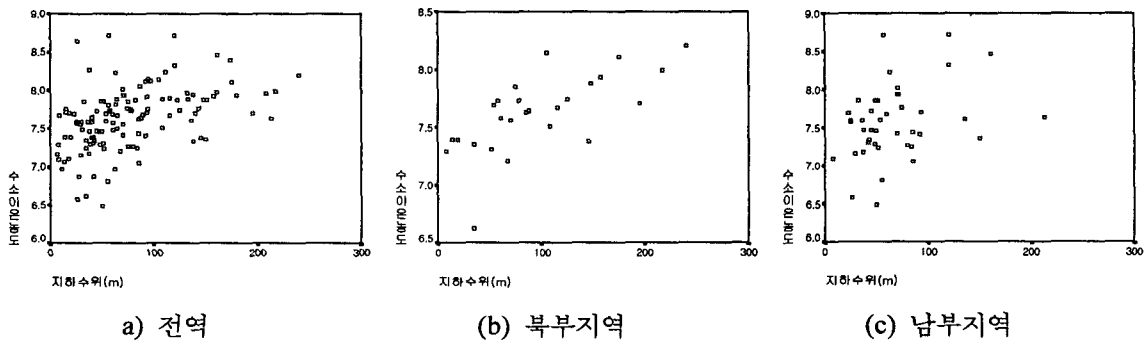


그림 2 수질조사지점의 개발당시의 지하수위(지표면기준)와 pH관계

2.2 지하수유동에 따른 pH 변화

제주도는 그 지형특성상 한라산을 중심으로 한 고지대에서 주로 강우의 침투에 의한 지하수 함양이 발생하며 이후 함양된 지하수는 측방 및 수직 방향으로 이동하여 해안선인근에서 유출되고 있다(그림 1). 지하수가 함양지역으로 판단되는 상류지역에서 유출지역인 해안선 인근지역으로 유동하여 갈 때 발생하는 pH의 변화경향을 분석하기 위해 지하수 유동방향상에서 지하수위가 높은 지점부터 낮은 지점까지 수질조사지점이 비교적 균등하게 위치한 6개 구역의 자료를 선별하였다(그림 1). 지하수위 등고선 도에서 구한 조사지점의 지하수위(수두)와 pH의 관계는 그림 3과 같다. 경로 2의 경우 지하수위가 74m 인 지점에서 pH는 7.54이며 54m 지점은 7.79, 26.6m지점은 8.11로 지하수가 상류에서 하류로 유동하여 갈수록 pH는 높아지고 있으며, 지하수위가 14.40m인 지점에서 pH가 7.70으로 다시 낮아지고 있다. 따라서 지하수가 상류에서 하류로 유동하는 과정 중에 pH가 높아지다가 다시 낮아지는 경향을 보인다. 경로 1에서도 경로 2와 마찬가지로 pH가 하류로 갈수록 높아지다가 다시 낮아지는 경향을 보이는데, 낮아지는 지점의 질산성질소농도가 4mg/l이상으로 높기 때문에 pH의 변화현상이 지하수오염과의 연관성을 배제할 수 없다. 경로 3, 4, 6은 유동경로상의 상류지역(지하수위 30 ~ 50m 지점)의 수질자료가 없는 관계로 유동에 따른 pH의 상승 여부를 알 수 없다. 그러나 하류로 갈수록 pH가 7.90~8.32에서 7.47까지 낮아지는 경향이 공통적으로 나타난다.

pH의 상승에 따른 주요성분의 변화를 경로2, 경로3 경로5의 자료로 분석하였다(그림 4). 하류로 유동하여 갈 때 따라 pH상승과 함께 총용존고형물이 증가하며 양이온의 경우 Na의 농도가 가장 많이 증가하고, 다음으로 K와 Mg의 양이 증가하고 있다. Ca의 함량은 거의 일정한 경향을 보인다. pH 증가에 따른 양이온의 구성비는 거의 일정한 경향을 보이고 있다. 음이온의 경우 pH 상승에 따라 HCO₃의 농도가 크게 증가하며, 다른 성분은 거의 일정한 경향을 보인다. 구성비로 볼 때 HCO₃이 음이온중 차지하는 구성비가 증가하지만 Cl과 SO₄의 구성비가 감소하는 경향을 보인다.

pH가 8~8.5를 나타내는 지점부터 지하수유동경로상 하류부로 향할수록 점차 낮아지는 경향을 나타낼 때의 지하수중의 주요성분의 변화를 분석하였다(그림 5). pH 7.5 미만의 조사공은 잠재오염원이 밀집된 해안 지역에 주로 위치하며 질산성질소의 농도가 4mg/l이상이고, 그림 5에서와 같이 양이온과 음이온의 함량이 pH7.5미만에서 급격히 증가하므로 인위적인 오염에 의한 pH변화가 발생한 것으로 판단된다. 추후 오염원과의 관계를 오염부하량 Map작성을 통해 추가적인 검토가 필요하다. 인위적인 오염의 영향이 적은 것으로 생각되는 pH 7.5까지 낮아질 때의 주요성분의 변화를 보면 Na와 Mg의 농도는 증가하지만 Ca과 K의 농도는 거의 일정한 경향을 보인다. Na의 구성비는 거의 일정하지만 Mg의 구성비가 증가하고 K의 구성비가 작아지고 있다. 음이온의 경우 HCO₃와 SO₄는 일정한 농도를 유지하지만 NO₃와 Cl의 농도는 증가하는 경향을 보인다. HCO₃의 구성비가 작아지고 NO₃와 Cl의 구성비가 증가하는 경향을 보인다.

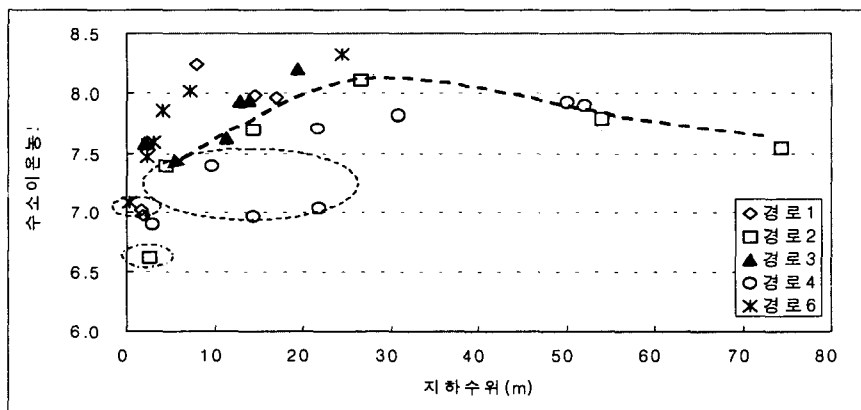


그림 3 지하수의 유동경로에 따른 pH 변화과정(굵은 점선은 경로2의 pH변화과정, 가는 점선은 NO₃-N농도가 4mg/l이상인 지점임)

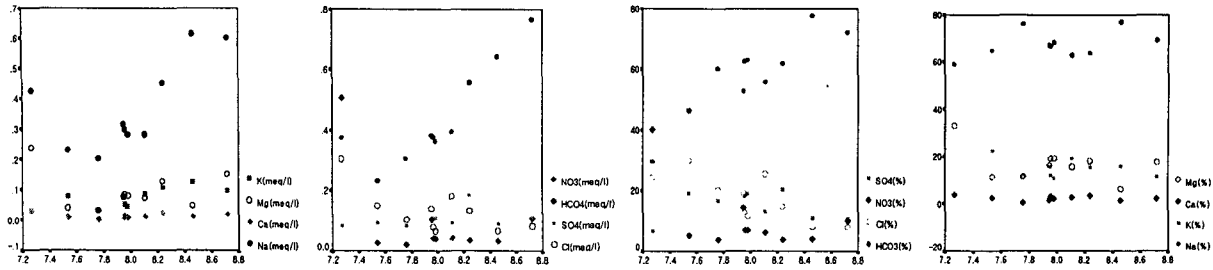


그림 4 pH의 상승에 따른 주요성분의 변화

2.3 고찰 및 토의

제주도 지하수에서 pH 값의 공간적 분포와 지하수유동 경로상의 변화에 대해 분석해 보았다. 제주도 지하수의 pH 값은 수질검사공이 위치한 지점의 지하수위와 상당한 연관성이 있는 것으로 나타났다. 즉, 지하수위가 낮은 지점보다 높은 지점에서 채취한 지하수의 pH 값이 일반적으로 보다 높게 분석된 것이다. 한편 지하수 유동 경로상 상류로부터 하류방향으로 6개 구역을 설정하고 선별적으로 지하수의 pH를 비교한 결과, 함양지역인 고지대로부터 배출지역인 해안지역으로 유동하는 과정에서 일정 지점 (또는 지하수위, 대체로 지하수위 20~40m 구간으로 추정)을 변곡점으로 하여 pH 값이 8.0 이상으로 상승하다가 다시 하강하는 경향을 보여주었다.

pH와 동시에 분석한 지하수의 주요성분 함량에 관한 조사결과, 함양지역으로부터 변곡점까지 pH 값의 상승과 함께 Na, K 등 1가 양이온이 동시에 증가하는 현상은 약산-염기반응에 의한 것으로 판단된다. 즉, 강수는 일반적으로 pH가 5.8 이하로 낮으며, 토양으로 침투한 강수는 식물뿌리지대를 통과하면서 토양공기중의 CO₂를 흡수하여 pH가 더욱 낮아지게 된다. 그 후 불포화대에서 방해석, 사장석, 감람석 및 휘석 등 광물과의 약산-염기반응에 의해 수중에서 H⁺이 제거되고 Ca, Na, Mg 이온과 H₂SiO₂ 등이 용존되며, 포화대에서는 탄산염광물, 규산염광물, alumino-silicate 광물과의 약산-염기반응에 의해 H⁺이 수중에서 제거되고 양이온과 H₂SiO₂, HCO₃⁻이 용존된다(Domenico, 1990). 그러나 pH의 상승과 더불어 Na와 K를 제외한 Ca, Mg 이온의 농도 상승 현상이 뚜렷하지 않으므로 제주도 현무암의 주구성광물인 사장석, 감람석, 휘석과의 반응에 의해 pH의 상승이 일어난 것은 아니라고 판단된다. 또한 지하수 관정의 지질주상도 자료를 검토한 결과, pH가 높게 분석되는 관정중에는 현무암층 하부에 분포하는 서귀포층까지 굴착하지 않은 관정이 많으므로 서귀포층에 포함된 방해석과의 반응으로 보기도 어렵다. 한편, 현무암 불출단위 사이에는 적색 내지 적황색의 미사질~니질층이 많이 협재하는데, 고지대에서 함양된 지하수가 포화대까지 내려가는 유동과정에서 이 층들 중에 포함된 점토광물과 산-염기반응에 의해 지하수중의 Na와 K의 농도가 증가하고 pH가 높아지는 것으로 추정할 수 있다. 하지만 현재로는 제주도 현무암층 중간에 협재된 미사질~니질층에 관한 토양학적·지구화학적 연구가 미미한 수준이므로 향후 이에 관한 많은 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

변곡점에서 해안지역까지 pH 값이 낮아지는 현상은 산-염기반응에 의해 지하수중에 용해되어 농도가 증가한 H₂SiO₂의 해리작용과 관계되는 것으로 추정된다. 그러나 H₂SiO₂의 지하수중의 농도와 해리점에 관한 연구는 추가적인 연구가 필요하다. 또한 경로1에서와 같이 pH의 변곡점에서 해안지역까지 지하수중의 NO₃⁻의 농도가 증가하는 것을 볼 때 pH 값이 낮아지는 현상은 오염원과의 관계뿐만 아니라 복합적인 영향이라는 것을 간접 증명한다.

3. 결론

본 연구는 제주지역 지하수의 수질특성중 pH에 주목하여 공간적 분포특성을 파악하였다.

먹는물 수질기준의 경우 pH는 5.8~8.5의 범위를 요구하고 있다. 제주지하수의 대부분은 이 범위내에 속하나 특정지역의 경우 상한선을 초과하는 경우도 있다. 이의 원인을 규명키 위한 기초적 조사로서 우선 공간적 분포 특성을 조사하였고, 조사결과 지하수위, 구성암질 및 오염원과의 명확한 상관성은 판단하기 어려우나 추후 연속적인 측정과 자료분석을 토대로 검토예정이다.

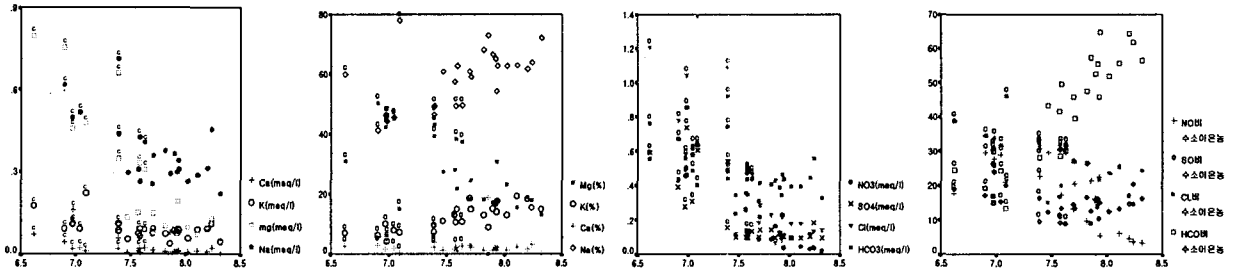


그림 5 pH가 낮아지는 과정중의 주요성분의 변화(그림에서 c는 NO₃-N농도가 4mg/l인 지점임)

4. 참고문헌

제주도, 2000, 제주도 지하수보전·관리계획 보고서.

Domenico, P.D. and Schwartz, F.W. (1990). Physical and chemical hydrogeology, pp. 492-509.

이용두 고인범, 1997, 생물막 여과에 의한 지하수 중 질산성질소의 제거, 상하수도학회지

이용두 함진규, 2000, 제주도 중산간 지역에서의 강우에 의한 지하수위 변동에 관한 연구, 제주대 환경연구소

이용두 강병남, 2000, 제주도 지하수의 고도별·지역별 수질특성