

제주 한림 지역 지하수 수질 및 질산성 질소의 공간적 분포

정성욱 · 현승규 · 송용학 · 한원식 · 우남철, 이광식*
연세대학교 지구시스템과학과, *한국기초과학지원연구원
e-mail : cbronte@hotmail.com

요 약 문

이 연구는 제주도 한림 지역에서 지하수의 수질과 오염의 특성을 규명하고자 시행되었다. 2002년 8월과 11월에 걸쳐 34개 지점에서 지하수 시료를 채취하였고, 이를 분석하여 지하수의 수질을 유형별로 분류하였다. 연구지역은 주로 (Na,Mg)-HCO₃ 유형이 나타나며, 일부 지점에서는 Mg-(HCO₃+Cl), (Ca,Mg)-HCO₃ 유형 등이 나타난다. 이는 지하수의 유동 경로를 따라 서로 다른 수리지화학적 반응이 일어나며, 지표 오염물질의 유입 등이 지하수의 수질에 영향을 미치고 있음을 지시한다. 질산성 질소의 경우, 국내 먹는물 수질기준치 10 mg/L를 초과한 시료는 전체 시료의 8월 조사에서 약 32%, 11월 조사에서 약 27% 이었고, 공간적 분포 특성은 비교적 낮은 고도 150m 이하의 저지대에서 채취한 시료에서 주로 나타났다. 인위적인 오염물질의 유입 가능성이 있는 지점은 전체 시료의 79.4% 이었다.

주요어 : 제주도 한림, 지하수 수질유형, 질산성 질소, 공간적 분포 특성

1. 서론

제주도는 그 수리지질학적 특징으로 인하여 수자원의 95% 이상을 지하수에 의존하고 있다. 1960년대 이후 도시화에 따른 인구 증가로 인한 지하수의 이용량이 급증하였고, 최근 들어 원예농가의 증가 및 대형화, 가축사육두수의 증가, 골프장 개발 및 휴양시설의 증가 등이 지하수 오염원으로 작용할 것으로 예상되어 지하수의 보전 관리 및 오염 방지 대책이 시급한 실정이다¹⁾. 이와 같은 배경에서, 이 연구는 제주도 한림 지역의 지하수 수질과 오염 특성을 규명하고자 시행되었다.

2. 연구지역

연구지역인 한림지역은 제주도의 북서부에 해당하며, 동쪽은 한라산 정상과 연결되어 비교적 고지대에 속하며, 서쪽은 해안을 따라 완만한 경사를 갖는 저지대가 형성되어 있다. 전체적으로 보아 한림지역의 지형은 서쪽에서 동쪽으로 비교적 완만한 경사를 가지고 있으며, 동서의 고도 차이는 약 300m에 달하며, 6개의 대규모 오름이 분포하고 있다²⁾(Fig. 1). 토지 이용 측면에서는 해안으로 주거지역이 밀집해 있으며, 어도오름을 중심으로 금오름까지 광범위하게 밭작물 재배지역이 분포해 있다. 또한 남서부 일대를 중심으로 과수원 지역이 발달해 있으며, 고도 약 100 ~ 300m에 걸쳐 가축 방목장 및 축사가 산재해있다. 주된 산업활동으로는 농업활동이 이루어지고 있다(Fig. 2).

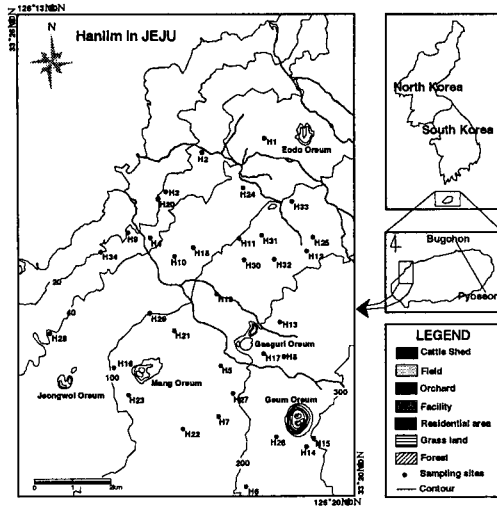


Fig. 1. Sampling locations of the study area.

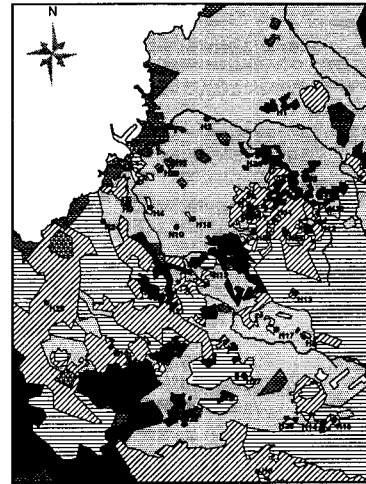


Fig. 2. The distribution of land-use in study area.

3. 연구방법

한림 지역을 중심으로 8월과 11월에 각각 34개의 지하수 시료를 채취하였다. 현장에서 수온, EC, pH, Eh를 측정하였고, 화학 분석을 위해 음이온 및 양이온 시료는 0.45 μ m membrane filter로 여과한 후 폴리에틸렌 병에 채취하였다. 음이온의 경우 4 $^{\circ}$ C이하로 보존하였으며 양이온은 농축 질산을 첨가하여 pH 2 이하로 보존하였다. 실내 분석에서 음이온(F, Cl, Br, NO₃, PO₄, SO₄)은 연세대학교 지구시스템학과과의 IC(DX-80)를 이용하였고, HCO₃는 0.01N HCl을 이용한 적정법으로 분석하였다. 양이온(K, Na, Ca, Mg, Si, Fe, Mn)은 한국기초과학지원연구원(KBSI) 서울분소에서 ICP-AES(Jobin Yuon 138 Ultrace)를 이용하여 분석하였다.

4. 결과 및 토의

4.1. 지하수의 배경수질

현장에서 측정한 지하수 시료의 수질요소는 다음과 같다(Table 1).

Table 1. In-Situ Water Quality Parameters of the Groundwater Samples

		T($^{\circ}$ C)	pH	EC (μ S/cm)	Eh (mV)	
Groundwater	August	Min.	15.4	6.80	106.0	460
		Max.	18.7	8.52	500.0	595
		Avg.	16.9	7.63	231.2	494
		Std.	0.8	0.40	109.8	31
	November	Min.	12.1	6.91	90.0	296
		Max.	17.2	8.50	399.0	446
		Avg.	15.7	7.67	188.4	380
		Std.	1.0	0.46	80.9	41

지하수의 배경수질을 관찰하기 위하여 8월에 채취한 시료 분석 결과를 Piper diagram에 도시하였고(Fig. 3), 지역적인 수질 유형의 특성을 관찰하기 위하여 지형도에 도시하였다(Fig. 4). 지하수의 수질은 주로 (Na,Mg)-HCO₃ 유형이 나타나며, 이는 기존의 광역적인 제주도의 수질을 조사한 연구결과³⁾와도 일치한다. 지역적으로 Mg가 우세한 Mg-HCO₃ 유형과 Na가 우세한 Na-HCO₃ 유형이 나타난다. 일부 지점에서는 Mg-(HCO₃+Cl) 유형이 나타나며, 특징적으로 H28 시료에서는 (Ca,Mg)-HCO₃ 유형이 나타난다. 이와 같이 서로 다른 유형의 지하수 수질이 관찰되는 것은 지하수의 유동경로에서 발생할 수 있는 매질과의 물리적·화학적 반응, 지표오염 물질의 유입, 토양 중 성분의 용탈 등 수리지화학적 반응이 복잡하게 나타남을 지시한다. 그럼에는 도시하지 않았지만, 전체적인 수질 유형은 8월과 11월 시료에서 유사하게 나타났다.

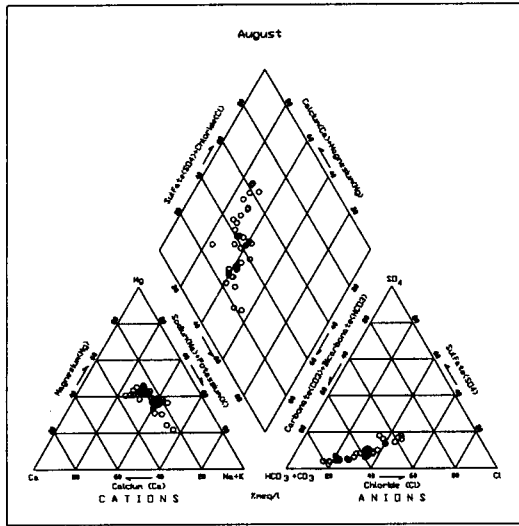


Fig. 3. Piper diagram of August samples.

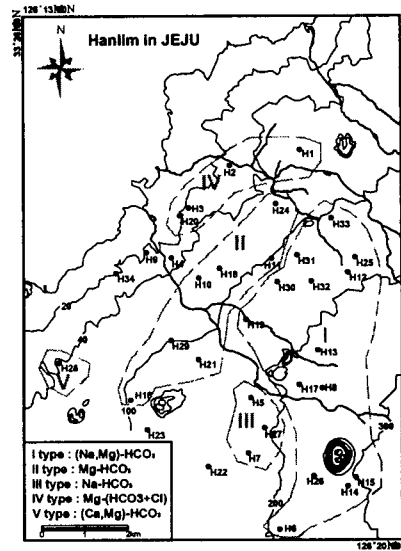


Fig. 4. Groups of groundwater based on the chemical analysis.

제주도는 화산섬이 지닌 특수한 지질과 지형조건으로 연 강우량의 45%정도가 지하로 쉽게 침투되는 특성을 갖고 있어 강수로 인한 지표 오염물질의 유입이 용이하다⁴⁾. 지하수 수질에 영향을 미치는 지표오염물질의 유입을 설명하기 위해서, 질산성질소와 염소 농도의 상관관계를 비교하였다(Fig. 5). 대부분의 지점에서 양호한 정도의 상관관계를 나타내고 있다. 이는 지하수 중의 염소 농도는 질산성 질소와 함께 지표로부터 유입되어 증가함을 지시한다. 국부적으로 나타나는 Mg-(HCO₃+Cl) 유형은 지표로부터 유입된 오염물질이 지하수의 수질에 영향을 미치고 있는 것으로 사료된다.

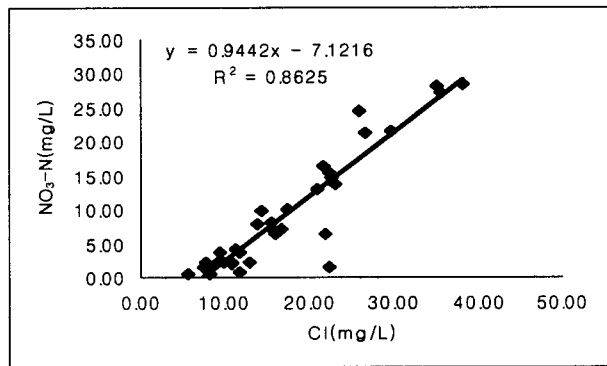


Fig. 5. The correlation between NO₃-N and Cl.

4.2. 질산성질소의 오염

농촌지역 지하수 오염의 주원인은 질산성 질소로, 이의 배출원으로는 농약 및 화학비료의 과다 사용, 시비, 축사 폐기물의 유출, 정화 시설 미비로 인한 정화조의 누수, 생활하수의 유입, 토양의 유기질소 등이 있다⁵⁾. 2차례에 걸친 조사 결과, 이 연구지역의 주된 오염 성분 역시 질산성 질소로 나타났다. 전체 34개 시료 채취 지점 중 8월 조사시 11개 지점에서 국내 먹는물 수질 기준치인 10 mg/L를 초과하였으며, 이는 전체 시료의 32.4%에 달했고, 생활용수 수질기준인 20 mg/L를 초과하여 심각하게 오염된 지점도 6개 포함되어 있다. 또한, 자연상태의 일반적인 지하수에서 나타나는 질산성 질소의 농도인 2 mg/L⁶⁾를 초과하는, 인위적인 오염물질의 유입 가능성이 있는 지점은 전체 시료의 79.4% 이었다. 11월 조사시 전체 시료 중 9개 지점에서 먹는물 수질 기준치를 초과하여 전체의 26.5%이었으며, 이 중 생활용수 수질기준을 초과한 지점이 2지점, 인위적인 오염물질의 유입 가능성이 있다고 판단되는 지점이 전체 시료의 64.7% 이었다(Fig. 6).

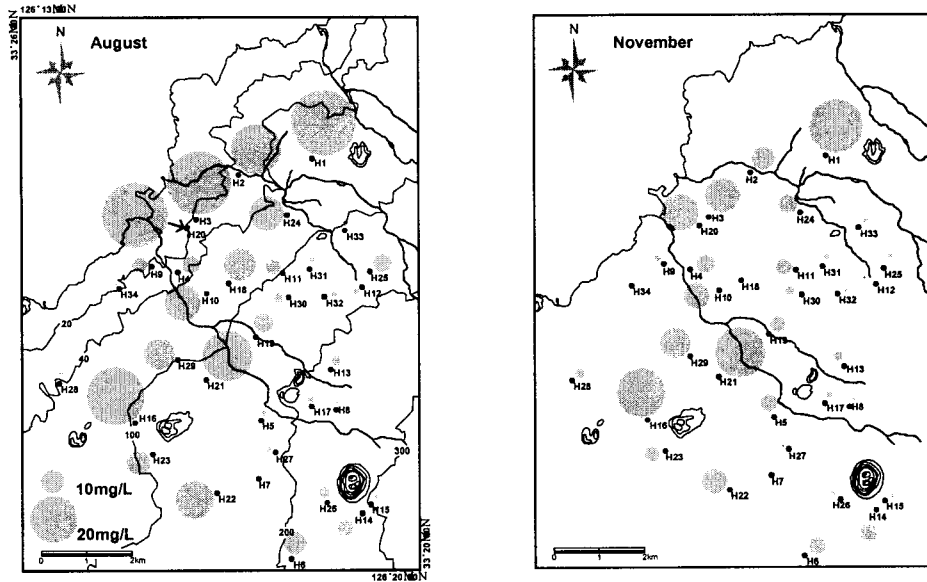


Fig. 6. The map for $\text{NO}_3\text{-N}$ concentrations in August and November.

국내 먹는물 수질 기준치를 초과하는 지점은 8월과 11월 조사에 따르면 공통적으로 고도 150m 이하의 비교적 저지대에 분포한다(Fig. 6). 국내 먹는물 수질 기준치를 초과하는 지점들보다 저지대에 속하는 지역의 일부 지점(H4, H9, H34, H28)에서 질산성 질소는 국내 먹는물 수질 기준치 이하로 나타나는데, 이는 지형에 따라 저지대로 흐를 것으로 예상되는 지하수의 유동경로가 주변의 건천으로 경사 유입 등의 영향을 받아 달라질 수 있음을 시사한다. 오염현상을 일으키는 질산성 질소가 연구지역의 저지대에 광범위하게 분포하는 발작물 재배지역 및 과수원에서의 화학비료 사용, 시비 등에 기인하는지, 또는 고도 200m 인근의 고지대에 국지적으로 분포하는 측사에 기인하는지를 규명하기 위한 연구가 진행중이다.

5. 결론

1. 지하수의 배경 수질은 (Na,Mg)- HCO_3 유형이 주를 이루며, 일부 시료에서는 Mg-($\text{HCO}_3\text{+Cl}$) 유형이 나타나는데, 이는 지표로부터 오염물질의 유입이 지하수의 수질에 영향을 미치고 있는 것으로 사료된다.

2. 8월 조사시 전체 시료의 약 79%, 11월 조사시 약 65% 가 의해 인위적인 오염물질의 유입 가능성을 보였으며, 질산성 질소의 경우 국내 먹는물 수질기준치를 초과한 시료는 8월과 11월 조사시 각각 약 32%, 27% 이었다.

3. 2차례의 조사 결과, 지표로부터 질산성 질소를 생성할 수 있는 오염물질이 지속적으로 지하수로 유입되고 있음으로 추정된다.

4. 국내 먹는물 수질기준치를 초과하는 질산성 질소의 공간적 분포는 고도 150m 이하의 비교적 저지대에 속하는 지역으로, 지하수의 유동 경로상 하류로 판단되는 지역이었다.

6. 사사

이 연구는 한국과학재단 목적기초연구(2000-2-13200-003-3) 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사 드립니다.

7. 참고문헌

1. 제주도, 환경백서, 1996.
2. 한국자원연구소, 모슬포-한림도폭 지질보고서, 2000.
3. 최순학, 김영기, 제주도 지하수의 수질 특성, 지질학회지 25권 3호, 1989.
4. 현승규, 박원배, 김길성, 한림읍 용포천 유역의 질산성질소 오염실태 및 오염원 조사 기초 연구, 제주발전연구 제6호 별쇄, 2002.
5. Canter, L. W., Nitrates in groundwater, Lewis publishers, 1997.
6. Mueller, D. K., and D. R. Helsel, Nutrients in the nation's waters-Too much of a good thing?, U.S.Geological Survey Circular 1136, 1996.