

국내 지하수의 주요 미네랄 분포 특성에 관한 연구 Study on Major Mineral Distribution Characteristics in Groundwater in South Korea

김정희 · 류리나 · 이종수 · 송대성 · 이영주*[†] · 전향배**

Jeonghee Kim · Rina Ryoo · Jongsu Lee · Daesung Song · Young-Joo Lee*[†] · Hang-Bae Jun**

K-water연구원 수질연구센터 · *K-water연구원 상하수도연구소 · **충북대학교 환경공학과

Water Quality Research Center, K-water Institute

*Water Research Center, K-water Institute

**Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University

(Received October 5, 2016; Revised October 17, 2016; Accepted October 20, 2016)

Abstract : In order to support effective usage of groundwater as an alternative water resource in future, we investigated distribution characteristics of minerals related with human health. While recent studies tended to focus on small scale, this study broadened research area up to nationwide scale to understand groundwater hydrology and regional, geological distributions of minerals in wide area; we investigated mineral distributions of national groundwater monitoring networks, developed GIS-based mineral maps, and reviewed correlation with geological features. As a result, calcium showed the highest concentration among 5 minerals (Ca, Mg, Na, K, Si) and potassium showed the lowest. Calcium concentration in limestone and sedimentary zone was the highest, and that in pore-volcanic-rock zone was the lowest. While calcium, magnesium and sodium showed differences in concentrations in intrusive-igneous-rock and sedimentary zone, potassium was not within geological features. When we studied regional differences, there were no tendency, but Jeju and Gangwon area showed differences in concentrations of calcium and silica.

Key Words : Minerals, Groundwater, GIS Map, National Groundwater Monitoring Networks

요약 : 본 연구는 대체수자원으로서 새롭게 주목받고 있는 지하수 이용에 대비하여 인체의 건강과 직접적 관련성이 높은 미네랄 분포특성에 대해 조사하였다. 현재까지의 연구가 주로 소규모지역을 대상으로 하거나, 일부 약수터를 중심으로 미네랄 함량에 관한 연구가 진행된 반면, 본 연구에서는 국가지하수관측망 지점을 대상으로 전국 지하수 중 미네랄 분포특성을 조사하고 이의 거시적 파악을 위해서 GIS를 활용한 미네랄 맵 구축 및 수문지질단위도의 지층과의 상관성을 검토하였다. 조사 결과 5종의 미네랄 중 칼슘 성분의 농도가 가장 높았으며 칼륨 성분 농도는 가장 낮은 것으로 조사되었다. 또한 기반암에 따른 미네랄 함량변화를 조사한 결과 칼슘성분은 석회암 지역과 퇴적암 지역에서 가장 높았으며, 다공질화산암 지역에서 가장 낮은 것으로 조사되었다. 칼슘, 마그네슘, 나트륨 성분은 관입화성암 지역과 퇴적암 지역 등에서 차이가 발생한 반면, 칼륨 성분은 기반암에 따라 유의한 차이를 보이지는 않는 것으로 조사되고, 지역별 미네랄 함량 차이를 분석한 결과 제주와 강원지역에서 칼슘과 규소 성분 함량에 차이가 있을 뿐 지역별 큰 경향성을 보이지는 않았다.

주제어 : 미네랄, 지하수, GIS Map, 국가지하수관측망

1. 서론

산업화, 도시화, 인구증가에 따른 오염물질 증가 및 기후 변화로 인한 가뭄, 홍수 등 빈번한 기상이변의 발생은 우리나라 주요 취수원인 지표수 즉 하천과 호소수의 수질악화 및 국지적인 물 부족을 유발하고 있어, 안정적인 수질과 수량을 확보할 수 있는 공공지하수개발, 해수담수화와 같은 대체 수자원 개발에 많은 관심이 집중되고 있다.

2007년 기준 국내 총 물 이용량은 333억 m³/년으로 수자원 총량 대비 26%를 차지하고 있다. 이 중 하천 108억 m³ (32%), 댐 188억 m³ (56%)으로 전체의 88%를 지표수로 공급하고 있으며 지하수는 단 11%인 37억 m³을 공급하고 있어, 상대적으로 지하수 이용비율이 현저히 낮음을 알 수 있다.¹⁾

따라서 본 연구에서는 안정적인 수량 및 수질 확보가 가

능하여 대체 수자원으로 부각되고 있는 지하수의 먹는물로서 가치 재조명을 위해 물의 건강성과 관련이 높은 미네랄 함량에 대한 연구를 진행하였다. 지하수는 그 기원인 강우와 대수층의 특성에 따라 수질특성이 좌우되며, 대수층의 수리지질학적 조건에 따른 화학적, 생물학적 상호작용의 결과로 많은 무기물질이 용해된다.^{2,3)} 이렇게 용해되는 무기물질인 미네랄은 생명유지를 위한 인체 필수영양소로서 체 내에서 스스로 생성되지 않기 때문에 반드시 음식이나 물로 섭취해야 하는 물질로 알려져 있다.³⁾

그간 지하수 중 미네랄 함량 조사는 소규모 지역을 대상으로 하거나 약수를 중심으로 연구가 진행된 것에 반해, 이번 연구에서는 국가에서 관리하고 있는 국가지하수관측망 지점을 대상으로 지하수 중 주요 미네랄 함량을 조사하고, 통계기법을 활용하여 자료 분석 및 유의성 검증을 실시하

[†] Corresponding author E-mail: yjlee1947@kwater.or.kr Tel: 042-870-7532 Fax: 042-870-7549

었다.⁴⁻⁶⁾ 또한 미네랄 분포특성을 거시적 관점에서 파악할 수 있도록 GIS 기반의 미네랄 지도를 작성하여 전국적인 미네랄 분포 경향을 도출하였다.

본 연구결과는 본격적인 지하수개발에 앞서 지하수 중 미네랄 함량에 대해 선제적인 조사 및 연구를 실시함으로써 향후 개발 사업 진행 시 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

2. 조사 대상 및 방법

2.1. 조사대상

우리나라는 Fig. 1과 같이 2014년 기준 총 374개 지점의 국가지하수관측망을 운영하고 있으며, 본 연구에서는 이 중 348개 지점에 대해 미네랄 함량을 조사하였다. 국가지하수관측망은 지하수 관리를 위한 기초 수문자료 획득 및 국가정책 수립 시 자료 제공을 목적으로, 주요 지하수 함양, 배출지역, 지역별 및 수문지질단위별 대표성을 지닌 지역, 지하수 이용량이 과다한 지하수 고갈 우려지역 등을 고려하여 지점을 선정·운영하고 있다.⁷⁾

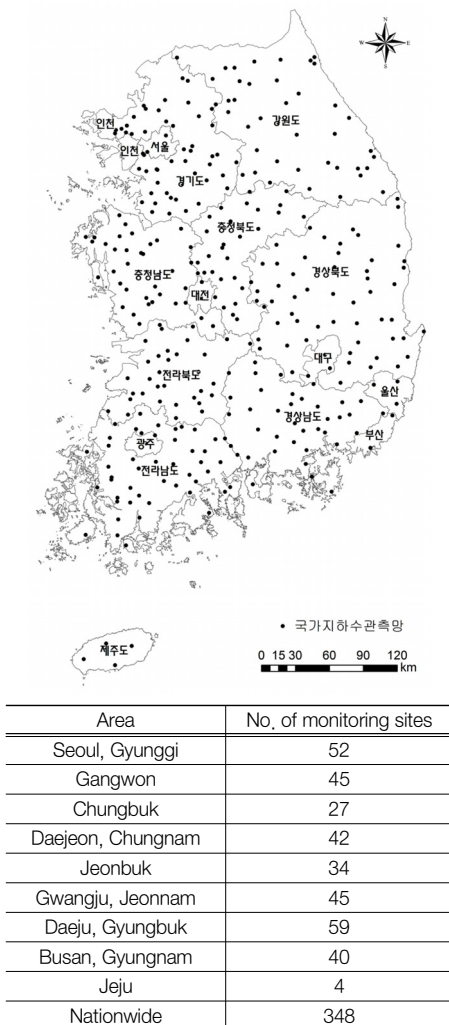


Fig. 1. National groundwater monitoring networks.

2.2. 조사방법

2.2.1. 시료채수

지하수는 수증펌프 또는 양수기 등을 이용하여 채수하기 때문에 다양한 오류가 발생할 수 있어 모든 시료에 대해 정확하고 동일한 방법으로 채수하는 것이 중요하다. 따라서 시료 채수 시 관정 내 고여 있는 물량의 3배 이상을 흘려보낸 후 pH 및 전기전도도 값을 모니터링하여 평형상태가 되었을 때 채수하였으며, 모든 시료는 수질오염공정시험법에 준하여 채수하였다.⁸⁾

2.2.2. 시료분석

채수한 시료는 0.45 μm GF/C filter (Whatman 社, USA)로 여과 후 ICP/AES (Perkin Elmer 5300DV, USA)를 이용하여 5종의 미네랄(Ca, K, Na, Mg, Si)을 분석하였으며, 분석방법은 수질오염공정시험법을 준용하였다.⁸⁾ 표준물질은 Accustandard 社의 1,000 mg/L 농도의 표준원액을 사용하였으며, 바탕시료를 포함하여 각 미네랄 성분의 평균 검출 농도를 고려하여 선정한 농도에 대해 검량곡선을 작성하였다. 시료의 분석 값이 검량곡선 범위를 벗어나면 시료를 일정 비율로 희석하거나 검량곡선을 재작성하여 분석하였다.

2.2.3. 통계분석

조사대상 348개 지점에 대해 통계프로그램인 SPSS를 활용하여 통계분석을 하였으며, 지역, 기반암, 항목간의 차이 및 상관성 분석을 위하여 T-검정 및 분산분석 등을 통해 통계학적 유의성을 검증하였다.

2.2.4. GIS 기반의 미네랄 맵 구축

전국에 산재되어 있는 348개 지점 미네랄 조사결과의 거시적 파악을 위해 GIS (Geographic Information System)를 활용한 전국 지하수 미네랄 지도를 작성하였다. 지도는 TM 좌표(평면직각좌표계)를 기반으로 작성하였으며 GIS 소프트웨어인 ArcGIS 10.1을 활용하였다. 공간보간(Interpolation) 중 크리깅(Krigging) 방법을 사용하였으며 한 격자의 크기 (Output cell size)는 1 km \times 1 km, 한 지점의 값을 예측하기 위해 방사방향으로 12개의 실측지점 값을 이용하였다. 점 (point)형태의 수질자료를 GIS 공간보간 과정을 통해 미관측 지점의 값을 예측하여 면(surface)형태로 지도상에 도식화하였다. 이를 통해 전국 지하수의 미네랄 함량 경향성을 도출하고 통계분석 결과와 연계하여 실제 수리지질과 미네랄 분포특성의 경향성을 재확인하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 전국 지하수 미네랄 분포 현황

조사대상 348개 지점에 대해 상·하반기 2회 조사결과를 통계 처리한 결과는 Table 1과 같다. 중앙값(Median)을 기준으로 칼슘이 32.23 mg/L (불검출~216.84 mg/L)으로 가장

Table 1. Statistical characteristics of mineral distribution in groundwater

Category	Ca	K	Na	Mg	Si
Samples (N)	696	696	696	696	696
Average (mg/L)	38.91	2.57	24.86	8.06	10.32
Median (mg/L)	32.23	1.84	16.83	6.05	9.75
Mode (mg/L)	13.23	0.87	11.59	8.18	12.12
Standard deviation (mg/L)	26.42	2.53	26.81	7.20	4.47
Variance (mg/L)	698.08	6.44	718.79	51.97	20.05
Skewness	1.586	3.465	4.218	2.144	0.788
Kurtosis	4.42	17.46	25.35	5.56	1.10
Range (mg/L)	216.84	24.37	268.46	48.50	29.45
Minimum value (mg/L)	0.00	0.11	2.19	0.00	1.16
Maximum value (mg/L)	216.84	24.48	270.65	48.50	30.61

높았으며, 나트륨 16.83 mg/L (2.19 mg/L~270.65 mg/L), 규소 9.75 mg/L (1.16 mg/L~30.61 mg/L), 마그네슘 6.05 mg/L (불검출~48.50 mg/L), 칼륨 1.84 mg/L (0.11 mg/L~24.48

mg/L)의 순으로 나타났다. Fig. 2는 분석결과의 편중성을 알아보기 위해 왜도와 첨도를 검토한 결과이다. 5종의 미네랄 모두 왜도값이 0보다 커서 오른쪽으로 편중되어 분포하는 것으로 나타났으며, 규소의 경우 왜도가 비교적 0에 가까워 좌우대칭 구조를 이루는 것으로 분석되었다. 첨도값이 0이면 정규분포이고, 0보다 크면 뾰족하게 나타나고, 0보다 작으면 납작하게 나타나는데, 5종 미네랄 모두 첨도가 0보다 큰 뾰족한 모양, 즉 값들이 일정 농도 범위내로 편중되어 있음을 알 수 있었다.⁴⁾

3.2. 기반암별(지질) 미네랄 분포 특성

지하수 수질은 대수층이 포함되어 있는 지질의 광물과 물의 상호반응, 대수층으로 침투되는 강우와 지표수의 수질 그리고 외부환경으로부터 자연적 또는 인위적인 요인에 의한 유입 등으로 물질의 종류 및 농도가 결정된다.⁵⁾ 특히 지질의 종류에 따라 수질특성이 크게 달라지기 때문에, 본 연구의 조사대상 지점을 수문지질단위도 상에서 구분하고 있

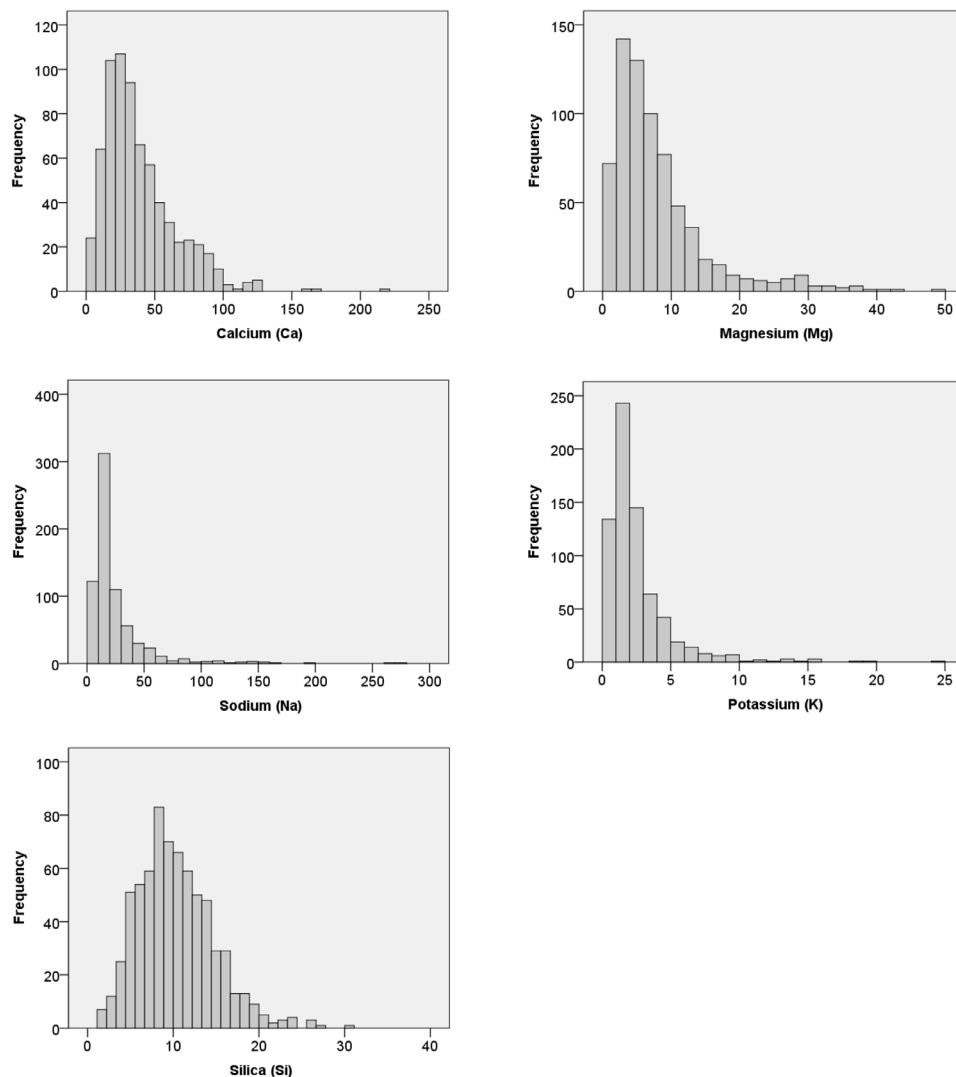


Fig. 2. Mineral distribution characteristics in groundwater (nationwide).

Table 2. Distribution of minerals in geological features
(Average \pm Standard deviation, mg/L)

Category	Ca	K	Na	Mg	Si	Total
Intrusive igneous	34.95 \pm 21.82	2.52 \pm 2.62	21.64 \pm 18.43	6.66 \pm 5.35	10.90 \pm 4.43	76.71
Porous volcanic	11.88 \pm 10.35	2.80 \pm 0.85	9.62 \pm 3.92	5.00 \pm 2.40	12.55 \pm 2.73	41.87
Metamorphic	36.61 \pm 22.71	2.67 \pm 2.77	25.93 \pm 25.44	7.95 \pm 6.64	10.09 \pm 4.40	83.28
Non-porous volcanic	38.66 \pm 22.38	2.22 \pm 1.85	26.35 \pm 21.90	5.64 \pm 3.40	12.58 \pm 4.50	85.47
Limestone	51.36 \pm 20.08	2.59 \pm 1.35	11.61 \pm 11.11	13.10 \pm 10.36	5.01 \pm 2.67	83.69
Sedimentary	54.46 \pm 39.23	2.60 \pm 2.34	35.71 \pm 45.32	12.19 \pm 10.54	9.41 \pm 4.00	114.40

는 6개의 지질로 구분하였다.⁷⁾ 그 결과 관입화성암(Intrusive igneous rock) 145지점(42%), 다공질화산암(Porous volcanic rock) 5지점(1%), 변성암(Metamorphic rock) 112지점(32%), 비다공질화산암(Non-porous volcanic rock) 21지점(6%), 석회암(Limestone) 13지점(4%), 퇴적암(Sedimentary rock) 52지점(15%)으로 구분할 수 있었다.

Table 2는 기반암별 미네랄 농도 분포를 조사한 결과로, 미네랄의 함은 퇴적암 지역이 가장 높고 다음으로 비다공질화산암, 석회암, 변성암 지역 순이었으며, 다공질화산암 즉 현무암 지역의 미네랄 총량이 가장 낮은 것으로 나타났다. 퇴적암 지역은 대부분 영남지방에 위치한 분지지형으로 겹겹이 쌓인 퇴적지층은 일부 미네랄이 파괴될 정도의 고열, 고압조건에서 발생하는 화산활동 및 변성작용이 많지 않아 지하수 산출에 유리하고 상대적으로 많은 양의 미네랄을 함유할 수 있다고 알려져 있는데,⁹⁾ 본 조사결과에서도 퇴적암 지역의 주요 미네랄 총량이 114.4 mg/L로 가장 높게 조사되었다. 석회암지역은 강원남부 지역과 충북 북부지역에 걸쳐 있으며, 변성암지역, 비다공질화산암 지역의 미네랄 총량은 차이가 크지 않았으나, 미네랄 구성비를 보면 칼슘 성분이 전체의 61%로 변성암 지역(43%)이나 비다공질화산암 지역(45%)에 비해 칼슘성분 농도가 10~20% 정도 높게 나타났다. 흔히 결정질암으로 불리는 관입화성암(화강암), 변성암 지역은 전체 지하수 기반암의 74%를 차지하는 우리나라 대표 기반암으로 영서지방을 비롯하여 서부 저지대에 위치한 경기, 충청, 호남지방 대부분이 여기에 해당하며, 문헌에 보고된 미네랄 함량(Na, Mg, K, Ca 농도의 합) 39.56 mg/L 보다 1.7배 높게 나타났다.¹⁰⁾ 현무암 즉 다공질화산암 지역은 제주도, 울릉도와 같은 화산지대 섬의 주요 기반암으로 암석의 공극이 커서 강수가 지층을 통과하는 시간이 짧기 때문에 물과 암석과의 반응시간이 짧아 주요 미네랄 함량이 낮으나, 바나듐, 규소, 루비듐과 같은 미네랄은 높게 검출되는 경향이 있다고 알려져 있으며,⁹⁾ 이번 조사결과에서도 규소성분 함량은 다공질화산암 지역과 비다공질화산암 지역에서 모두 12.5 mg/L 전후로 다른 기반암지대에 비

Table 3. Significance test between silica concentration and geological features

Category	N	1	2	3
Limestone	26	5,017308		
Sedimentary	104		9,417115	
Metamorphic	224		10,094554	
Duncan Intrusive-igneous	290		10,906871	10,906871
Porous volcanic	10			12,551000
Non-porous volcanic	42			12,585238
Level of significance		1,000	0,183	0,133

해 높게 검출되는 것을 확인할 수 있었다. 유럽의 지하수 수 원인 먹는샘물을 대상으로 한 조사결과에 따르면 현무암기반 지하수에서 알루미늄, 칼륨, 루비듐과 규소의 농도가 비교적 높게 검출되었다는 조사결과도 있다.¹¹⁾

기반암에 따른 미네랄 분포특성 파악을 위해 분산분석(Analysis of Variance, ANOVA) 및 박스플롯(Box plot)을 작성한 결과는 Table 3 및 Fig. 3과 같다. 분산분석은 독립된 변수를 몇 개의 범주로 나누고, 각 범주에 따라 나뉜 집단 간 평균값의 차이가 통계학적으로 유의한지를 검증하는 방법으로, 기반암별 미네랄 함량 유의성 검증에 적용하였으며, 박스플롯(Box plot)은 미네랄 분포 특성을 확인하는데 사용하였다.^{12,13)}

분산분석 결과 칼슘성분을 제외한 칼슘, 마그네슘, 나트륨, 규소성분의 p-value가 0.05 이하이기 때문에 신뢰수준 95%에서 지질별 평균 차이가 통계적으로 유의하다고 볼 수 있다. 사후검정을 통해 지질 간의 세부적인 차이를 분석한 결과, 등분산 조건을 만족하지 않는 칼슘, 마그네슘, 나트륨 성분은 Tamhane 방법으로 사후검정을 실시했다. 그 결과 칼슘 성분은 관입화성암 지역과 다공질화산암, 석회암, 퇴적암 지역에서 유의한 차이를 보인 반면, 마그네슘 성분은 관입화성암 지역과 퇴적암 지역, 나트륨 성분은 관입화성암 지역과 다공질화산암, 석회암, 퇴적암 지역에서 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 등분산 조건을 만족시키는 규소 성분은 Duncan 방법으로 분석했을 때 Table 3과 같이 석회암 지역, 퇴적암·변성암·관입화성암 지역 및 관입화성암·다공질화산암·비다공질화산암 지역의 3그룹으로 나뉘어 서로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

3.3. 지역별 미네랄 분포 특성

지역에 따른 미네랄 분포특성 파악을 위해 전 지역을 서울·경기·강원 등 9개 지역으로 나눈 후, 미네랄 농도를 평균한 결과는 Table 4와 같다. 경기지역과 경상(경남북)지역의 미네랄 함이 87.32~94.26 mg/L로 다른 지역에 비해 높았으며, 제주지역은 38.60 mg/L로 가장 낮게 나타났다. 경상지역의 미네랄 함은 부산지역 지하수 중 미네랄(Na, Mg, Ca, K) 분석결과인 81.73 mg/L와 유사하게 나타나 본 연구에서 제시한 지역별 미네랄 분포가 신뢰성이 높음을 확인할 수 있었다.¹⁰⁾

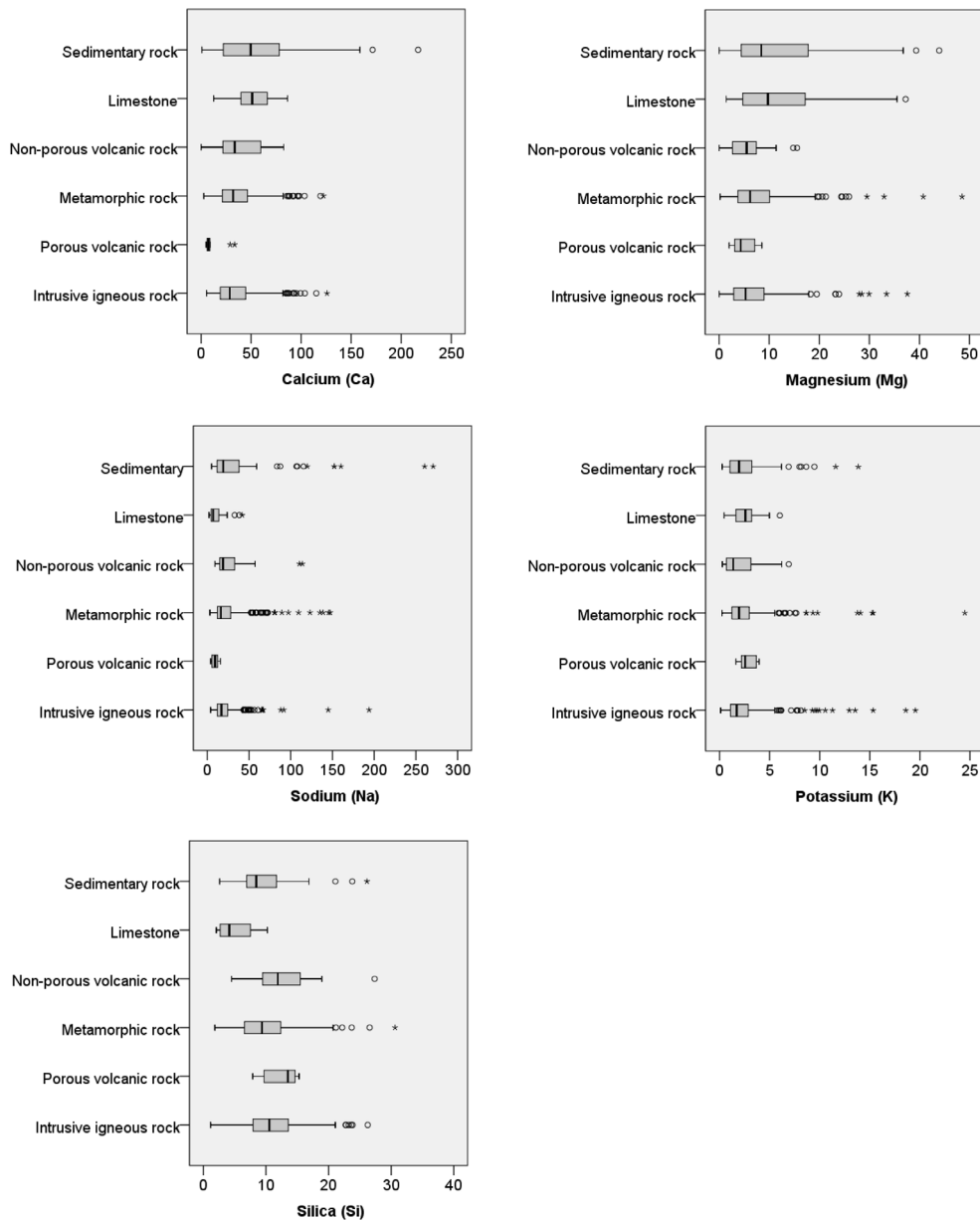


Fig. 3. Box-plot of mineral distribution in geological features.

Table 4. Distribution of minerals in regions (unit : mg/L)

Category	Average concentration					Total
	Ca	Mg	Na	K	Si	
Gyeonggi	40.07	8.30	26.04	2.79	10.13	87.32
Gangwon	41.10	8.14	21.05	2.21	6.68	79.18
Chungnam	35.54	7.60	25.88	3.28	10.80	83.11
Chungbuk	38.65	6.98	20.56	2.24	11.74	80.18
Jeonnam	38.92	7.40	22.90	2.49	11.15	82.87
Jeonbuk	34.13	7.64	26.24	2.93	11.32	82.27
Gyungnam	43.28	8.11	23.17	2.17	10.52	87.24
Gyungbuk	40.69	9.52	30.87	2.43	10.76	94.26
Jeju	7.03	5.29	9.96	2.96	13.37	38.60
Average (nationwide)	38.91	8.06	24.87	2.58	10.33	84.74

지역별 미네랄 분포특성 파악을 위해 항목별로 분산의 동질성 검증을 실시한 결과 Table 5와 같이 유의수준이 모두 0.05 이하로 등분산을 만족하지 않아 정규분포를 따르지 않는 것을 확인하였으며, 이 분석결과를 토대로 지역별로 로버스트 검정을 실시하였다. 대표적인 결과로 제주지역과 타 지역 간 칼슘 성분과 칼륨 성분의 유의성 검증결과를 Table 5에 함께 제시하였다. 칼슘 성분의 경우 유의수준이 모두 0.000으로 분석되어 제주지역의 칼슘 성분은 타 지역과 유의한 차이를 나타내는 것으로 볼 수 있으며, 칼륨 성분의 경우 유의수준이 모두 0.05 이상으로 타 지역과 유의한 차이를 나타내지 않으며, 제주 지역을 제외한 타 지역 간에도 미네랄 함량 차이가 발생하지 않아 인위적으로 나눈 지역별 구분이 큰 의미가 없음을 확인할 수 있었다.

Table 5. Results of Homogeneity test and robust test in regions

- Homogeneity test of variance				
Category	Levene statistics	df1	df2	Level of significance
Ca	5,366	8	687	,000
Mg	6,492	8	687	,000
Na	2,217	8	687	,025
K	5,000	8	687	,000
Si	3,324	8	687	,001

- Robust test between Jeju and other regions

Category	Regions	Ca			K		
		Average difference	Standard error	Level of significance	Average difference	Standard error	Level of significance
Jeju	Gyeonggi	-33,04	2,61	0,000	0,17	0,40	1,000
	Gangwon	-34,07	3,41	0,000	0,75	0,35	0,860
	Chungnam	-28,52	2,95	0,000	-0,33	0,56	1,000
	Chungbuk	-31,62	2,72	0,000	0,71	0,36	0,927
	Jeonnam	-31,90	2,19	0,000	0,46	0,38	1,000
	Jeonbuk	-27,11	2,27	0,000	0,02	0,43	1,000
	Gyeongnam	-36,26	2,78	0,000	0,79	0,37	0,846
	Gyeongbuk	-33,66	3,01	0,000	0,53	0,35	0,998

3.4. 미네랄 항목 간 상관성 분석

Table 6은 조사대상 미네랄 항목 간 상관성 통계분석을 위하여 상관분석-이변량상관계수 분석 결과를 나타낸 것이다. 칼슘과 마그네슘 성분은 상관계수가 0.691로 높은 양의 상관성을 나타냈는데, 이는 암석 내에서 칼슘이 마그네슘으로 치환되는 경우가 많기 때문인 것으로 판단된다. 규소 성분은 칼슘, 칼륨 성분과 음의 상관성을 보이는 것으로 분석되었으나, 상관계수 자체는 낮은 것으로 조사되었다. 즉, 칼슘과 마그네슘 성분을 제외한 미네랄 간에는 특정 미네랄 함량이 높고 낮음이 타 미네랄 함량에 영향을 미치지 않

Table 6. Coefficient of correlation for each minerals

Category	Ca	Mg	Na	K	Si
Ca	1	0,691	0,044	0,237	-0,078
Mg	0,691	1	0,143	0,257	0,017
Na	0,044	0,143	1	0,186	0,048
K	0,237	0,257	0,186	1	-0,044
Si	-0,078	0,017	0,048	-0,044	1

음을 확인할 수 있었으며, 이는 부산지역 지하수와 먹는샘물의 상관성 분석 결과와도 일치하였다.¹⁰⁾

3.5. GIS기반 전국 지하수 미네랄 분포 맵핑(Mapping)

국가지하수관측망 348개 지점에 대한 미네랄 분석결과를 바탕으로 GIS 데이터베이스를 구축하고, 이를 도식화하여 미네랄 지도(Map)를 작성한 결과는 Fig. 4와 같다. 국지적인 영향이 지배적인 지하수 특성상 지역적 미네랄 함량의 편차가 크기 때문에 지도상에 농도구배(색상표시)를 명확하게 나타내기 위해 기술통계 값을 고려하여 나누었으며, 또한 우리나라 행정구역도를 함께 표시하여 지역적 경향성 도출을 용이하게 하였다.

칼슘은 탄산칼슘 또는 칼슘 성분을 포함하는 규산염 광물의 영향을 받는 미네랄로, 수문지질 단위도와 비교하면 알 수 있듯이 Fig. 4 상에서 ①지역은 국내 최대 석회암지대인 강원 남부지역과 충북 북부지역, 그리고 대구, 의성 등 영남 지방인 ②지역은 분지지형으로 겹겹이 쌓인 퇴적지층으로 다른 지역에 비해 칼슘농도가 높게 검출되는 반면, ③지역은 제주도, 울릉도와 같은 화산지대 섬으로 주요 기반암이 다공질 화산암(현무암)으로 주요 미네랄의 절대 함량이 낮으며 특히 칼슘농도가 낮은 것을 거시적으로 확인할 수 있었다.

Fig. 5는 동일한 방법으로 미네랄 5종 합과 각 미네랄 성분에 대해 Mapping 작업한 결과를 제시한 것이다. 전반적으로 경상지역과 수도권, 충청북도와 경상지역의 분포함량이 상대적으로 높은 것을 알 수 있다.

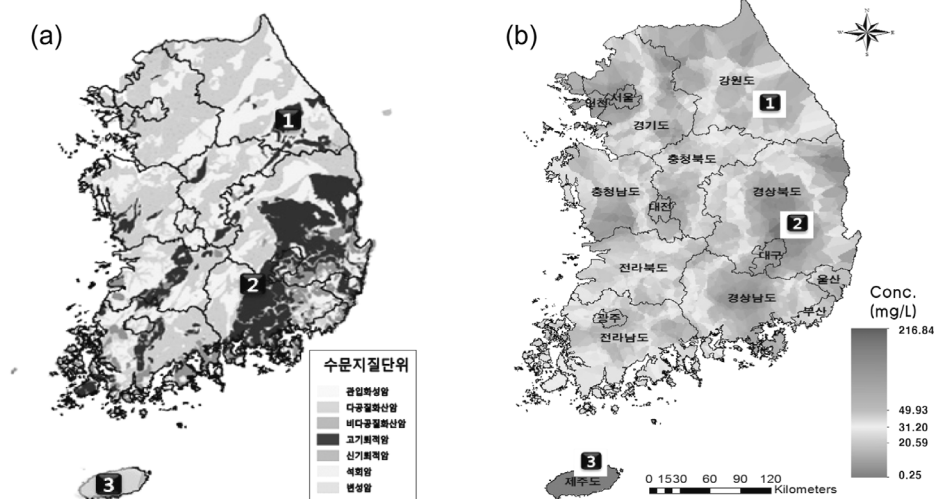


Fig. 4. (a) geological features, (b) Mineral map (Calcium).

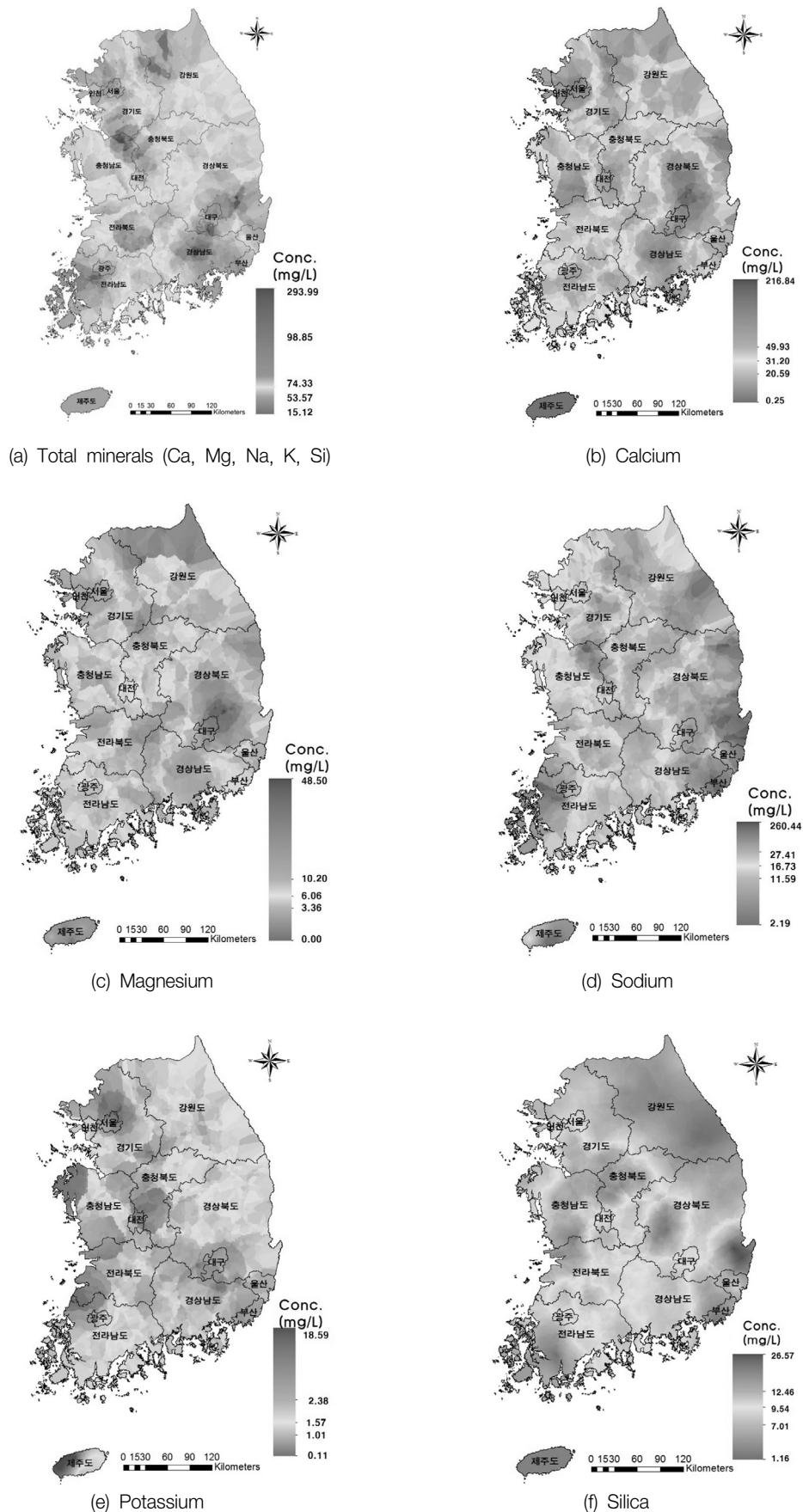


Fig 5. GIS-based mineral maps for (a) Total minerals, (b) Calcium, (c) Magnesium, (d) Sodium, (e) Potassium, (f) Silica.

4. 결론

본 연구는 대체수자원으로 새로운 관심의 대상이 되고 있는 국내 지하수 중 미네랄 함량과 지질과의 상관성 그리고 이의 조사결과를 바탕으로 거시적 관점에서 전국 미네랄 분포현황을 관찰 가능한 Mineral Map을 구축한 것으로 그 결과는 다음과 같다.

1) 국가지하수관측망 지점 중 348개 지점에 대해 칼슘, 마그네슘 등 주요 미네랄 5종을 조사한 결과, 칼슘 성분이 평균 32.2 mg/L로 가장 높았으며, 나트륨 성분 16.83 mg/L, 규소 성분 9.75 mg/L, 마그네슘 성분 6.05 mg/L, 칼륨 성분 1.84 mg/L의 순으로 나타났다.

2) 기반암에 따른 미네랄 분포특성 파악 결과 칼륨 성분은 기반암에 따라 유의한 차이를 보이지 않았으나, 칼슘, 마그네슘, 나트륨 성분은 관입화성암과 퇴적암 지역에서 차이가 발생하였으며, 규소 성분은 석회암 지역, 퇴적암·변성암·관입화성암 지역, 관입화성암·다공질화산암·비다공질화산암 지역의 3가지로 구분되어 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다.

3) 전국을 9개 지역으로 구분하여 지역별 미네랄 특성을 조사한 결과 제주지역은 칼슘과 나트륨 성분, 강원지역은 규소 성분에 차이가 발생했을 뿐 각 지역별로 큰 차이를 보이지 않아, 인위적으로 나눈 지역구분에 큰 의미가 없음을 확인할 수 있었다.

4) 미네랄 5종간의 상관성을 분석한 결과 칼슘과 마그네슘 성분의 상관계수가 0.691로 높은 반면 기타 성분과는 상관성이 거의 없는 것으로 조사되었다.

5) 조사대상 지점이 전국에 분포하고 있어 이를 거시적으로 확인할 수 있도록 도식화하기 위하여 GIS를 활용한 미네랄 지도(Map)를 구축하였으며, 국내 최대 석회암지대인 강원·남부지역과 충북·북부지역 및 분지지형인 대구, 의성 등 영남지방은 다른 지역에 비해 칼슘농도가 높게 검출되는 반면, 제주도, 울릉도와 같은 화산지대 섬의 주요 기반암인 다공질 화산암(현무암) 지역은 칼슘농도가 낮음을 거시적으로 확인할 수 있었다.

기존의 연구가 일부 소규모 지역을 대상으로 한 지층과 미네랄함량과의 상관성 또는 약수터에 관한 지형적인 연구인 반면, 본 연구는 국가지하수관측망 지점을 대상으로 한 전국단위의 조사결과로, 향후 대체수자원으로 지하수 이용 시 기초자료로 활용 가능한 의미 있는 연구 결과를 도출할 수 있었다.

KSEE

References

1. MLTM Ministry of Land, Transportation and Maritime Affairs and K-water, 2016 Water and Future, Daejeon, pp.23~25 (2016).
2. Appelo, C. A. J. and Postma, D., Geochemistry, Groundwater and Pollution, A. A. Balkema Publisher, ISBN 0415364213, p.536(1993).
3. Park, G. S., Kim, J. C., Oh, J. G., Kweon, K. A., Jung, U. H. and Hwang, S. M., "A survey on the characteristics of mineral inorganic in ground-water of Gapyeong country," *Korean J. Sanitation.*, **20**(1), 55~63(2006).
4. Park, H. G. and Park, J. Y., "Study on water quality management of drinking groundwater and its regional characteristics in the west Gyeong-Nam," *J. Korean Soc. Water Environ.*, **31**(2), 103~109(2015).
5. Kwon, D. M., Kim, S. Y., Choi, Y. J., Choi, S. H. and Lee, K. S., "Study on mineral characteristics of spring water in Busan," *The Annual Report of Busan Metropolitan City Inst. Health & Environ.*, **19**(1), 133~141(2009).
6. An, S. S., Kang, Y. J., Wi, H., Kim, J. M., Lee, Y. G., Park, O. H., Park, J. T. and Paik, K. J., "Distribution of mineral contents in potable ground-water of Gwangju city," *J. Korean Soc. Environm. Anal.*, **12**(3), 185~191(2009).
7. National Groundwater Information Center Homepage., <http://www.gims.go.kr>. September(2016).
8. Ministry of Environment, Method of Officially Determined Quality Test for Water Quality, Korea, Announcement No. 2016-65(2015).
9. Korea Rural Community Corporation, A Study for Water-Rock Interaction of Groundwater in Rural Area(II), Jeon-nam, pp. 27~31(1998).
10. Jeong, J. E., Ji, H. S., Kim, B. G., Han, S. M., Kim, S. Y. and Kwon, K. W., "Functional mineral characteristics of groundwater in Busan area," *The Annual Report of Busan Metropolitan City Inst. Health & Environ.*, **20**(1), 88~109(2011).
11. Arik Azouldy, MSc, BComm, Philippe Garzon, BSc, and Mark J. Eisenberg, MD, MPH, Comparison of the mineral content of tap water and bottled waters, *J. General Int. Medicine*, **16**(3), 198~175(2001).
12. Kim, M. K., Choi, S. H., Jung, J. E., Yun, N. N., Han, S. M. and Lee, K. S., "Statistical analysis of groundwater quality in Busan - Focused on minbangwii-emergency water -, " *The Annual Report of Busan Metropolitan City Inst. Health & Environ.*, **19**(1), 142~153(2009).
13. Yea, Y. D., Seo, Y. G., Kim, R. H., Cho, D. J., Kim, K. S. and Cho, W. S., "A Study on estimating background concentration of groundwater for water quality assessment in non-water sly district," *J. Korean Soc. Water and Wastewater*, **28**(3), 345~358(2014).