

임실지역 암반지하수의 수문지질 및 수리지화학적 특성

김연기* · 문상호 · 조민조

한국지질자원연구원 지하수지열연구부, 305-350, 대전광역시 유성구 가정동 30

Hydrogeological and Hydrogeochemical Characteristics of Groundwater in Crystalline Rocks, Imsil Area

Youn-Ki Kim*, Sang Ho Moon, and Min-Joe Cho

Groundwater & Geothermal Resources Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 30 Gajung-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-350, Korea

Abstract: The flow of groundwater, occurrence, and hydrochemical characteristics in crystalline rocks were mainly controlled by hydrogeologic features such as lithology and geologic structures (fractures, faults, and lineaments). In this study, the yield capacity of groundwater and hydrochemical characteristics were determined according to the development and direction of lineaments in each geological formation in the Imsil area. The study area was composed mainly of granites, sedimentary rocks, volcanic rocks and diorite. The dominant direction of lineaments were NE and NNW in granites, NNE and NNW in sedimentary rocks, NE and NNW in volcanic rocks, and NW in diorite. The specific yield capacity showed the highest value up to 8.61 m²/day in granite and the lowest value of 6.21 m²/day in diorite. The hydrochemical type of groundwater was Ca-Na-HCO₃ in granite, sedimentary rocks and diorite, whereas Ca-Na-HCO₃-SO₄ in volcanic rocks.

Keywords: crystalline rock, lineaments, specific capacity, hydrochemistry

요약: 결정질암에서의 지하수의 산출상태 및 지화학 특성은 분포지질이나 균열, 단층 및 선형구조와 같은 지질구조에 의해 영향을 받게 된다. 본 연구에서는 전라북도 임실지역의 지질별 선형구조의 발달상태와 방향에 따른 암반지하수의 지하수 부존 능력 및 지화학 특성 등을 규명하였다. 지하수 부존과 관련된 주요 분포 지질은 화강암, 퇴적암, 화산암 및 섬록암으로 확인되었다. 선형구조의 방향은 화강암지역에서는 북동 및 북북서방향, 퇴적암지역은 북북동 및 북북서방향, 화산암지역은 북동 및 북북서방향, 그리고 섬록암지역은 북동 및 북서방향이 우세하다. 지질별 비양수량은 섬록암에서 8.61 m²/day로 가장 높고 화강암에서 6.21 m²/day로 가장 낮은 값을 보인다. 지하수의 수리지화학적 특성은 화강암, 퇴적암 및 섬록암에서는 Ca-Na-HCO₃형, 그리고 화산암에서는 Ca-Na-HCO₃-SO₄형을 보여주고 있다.

주요어: 결정질암, 선형구조, 비양수량, 수리지화학

서론

수자원통계연보(수자원공사, 2002)에 의하면, 우리나라의 총 용수 이용량은 331억톤이며 이중에서 지하수 이용량은 11%인 37억톤에 불과하다. 그러나 낙동강과 영산강 등 큰 하천과 일부 댐들의 수질 오염이 당면 문제로 대두되고 있으며 극심한 가뭄시에는

이들 지표수의 기능이 거의 상실되기 때문에, 지속가능한 용수 확보를 위해서는 양질의 지하수 개발 및 확보가 필요하다. 그럼에도 불구하고, 무분별한 지하수의 개발과 이용은 지하수 자원의 고갈 및 지하수 수질 오염 등을 유발하고 있다. 이러한 문제점들을 예방하기 위하여 지하수 자원의 체계적·합리적인 보존 및 관리 평가가 요구되며, 이를 위해서는 지하수 산출 특성과 관련된 다양한 자료 취득이 우선적으로 요구된다.

결정질암에서의 지하수 이동과 산출은 균열, 단층 및 층서와 같은 지질구조에 의해 영향을 받으며 이

*Corresponding author: kyk@kigam.re.kr

Tel: 82-42-868-3076

Fax: 82-42-863-9404

들 지질구조는 선형구조(lineaments)에 반영될 가능성이 많다(Chi, 1994; 김규범 외, 2003). 따라서, 우리나라와 같이 지하수 개발의 주요 대상이 균열암반 대수층인 지역에서 지하수 부존 특성을 규명하기 위해서는 지질, 지질구조 및 선형구조와 지하수 산출 능력과의 연계성을 밝히는 것이 필요하다.

임실지역은 고질적인 한해와 다목적 용수 부족지역으로서 지하수의 효율적인 개발과 합리적인 보전 관리 시스템이 필요한 지역이다(최순학 외, 1996a). 이 연구에서는 임실지역 지하수의 체계적·효율적 탐사, 개발, 관리를 위해 분포 암석별 선형구조의 발달상태, 선형구조 방향에 따른 지하수 산출 상태 그리고 분포 암석별 지하수 산출 능력 및 수질 특성 등을 규명하였다. 이를 위해 이용된 기초 자료들은 김규봉 외(1984), 김동학과 이병주(1984) 등의 지질 자료와 최순학 외(1996a), 최순학 외(1996b) 등의 지하수 관련 자료들이다.

지질 및 지질 구조

연구지역의 기반암은 선캠브리아기 편마암류로서 남서단에서 소규모로 관찰된다(Fig. 1). 시대미상의 변성퇴적암류 중 주구성 암석인 편암류는 동부와 중부지역에서 북북동-남남서 방향으로 대상 분포하며, 이에는 규암 혹은 석회암이 협재한다. 트라이아스기 말에서 주라기 중엽에 걸쳐 상기 지층들을 관입한 순창염리상화강암류는 이 지역의 남동부에 매우 넓게 분포하며, 화강암은 남동단에 소규모로 분포한다. 백악기 지질은 퇴적암류, 화산암류, 섬록암 및 암맥류로 구성된다. 퇴적암류는 소위 진안분지를 이루는 쇄설성 퇴적암류로서 연구지역 중앙부 북측과 남동단에 주로 분포한다. 화산암류는 유문암 내지 안산암질로 구성되며, 서부지역에 넓게 분포한다. 섬록암은 북단에 주로 분포하며, 동부지역에서는 암맥류 상태로 산출한다. 상기한 지층들을 부정합으로 피복하는 제4기

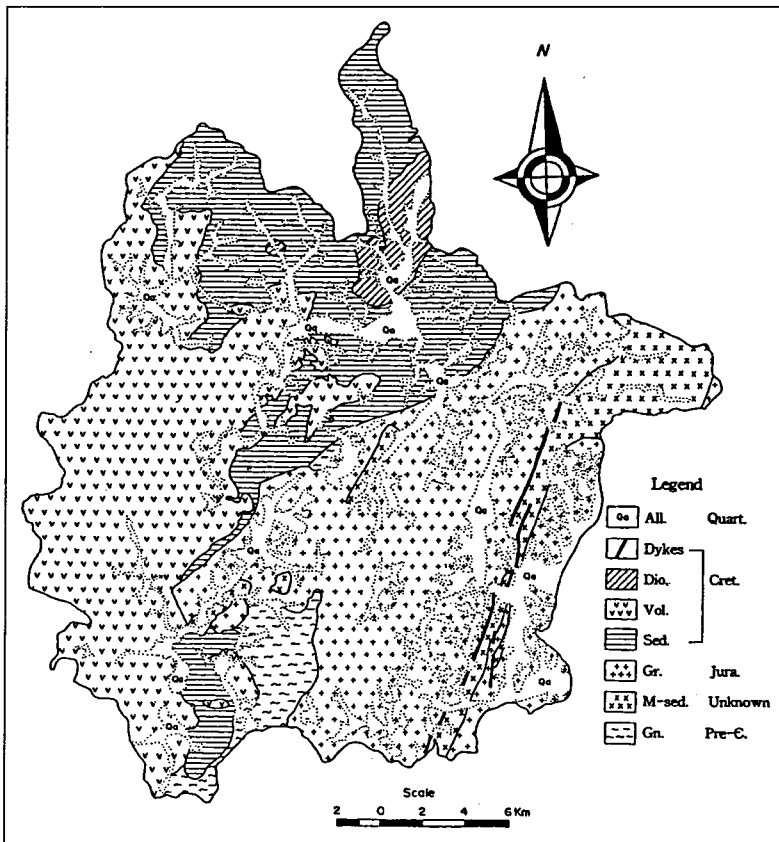


Fig. 1. Geologic map of the study area. All.: alluvium, Dio.: diorites, Vol.: volcanic rocks, Sed.: sedimentary rocks, Gr.: granites, Gn.: gneisses, Quart.: Quarternary, Cret.: Cretaceous, Jura.: Jurassic, Unknown: age-unknown, M-sed.: metamorphosed sediments, Pre-C.: Precambrian

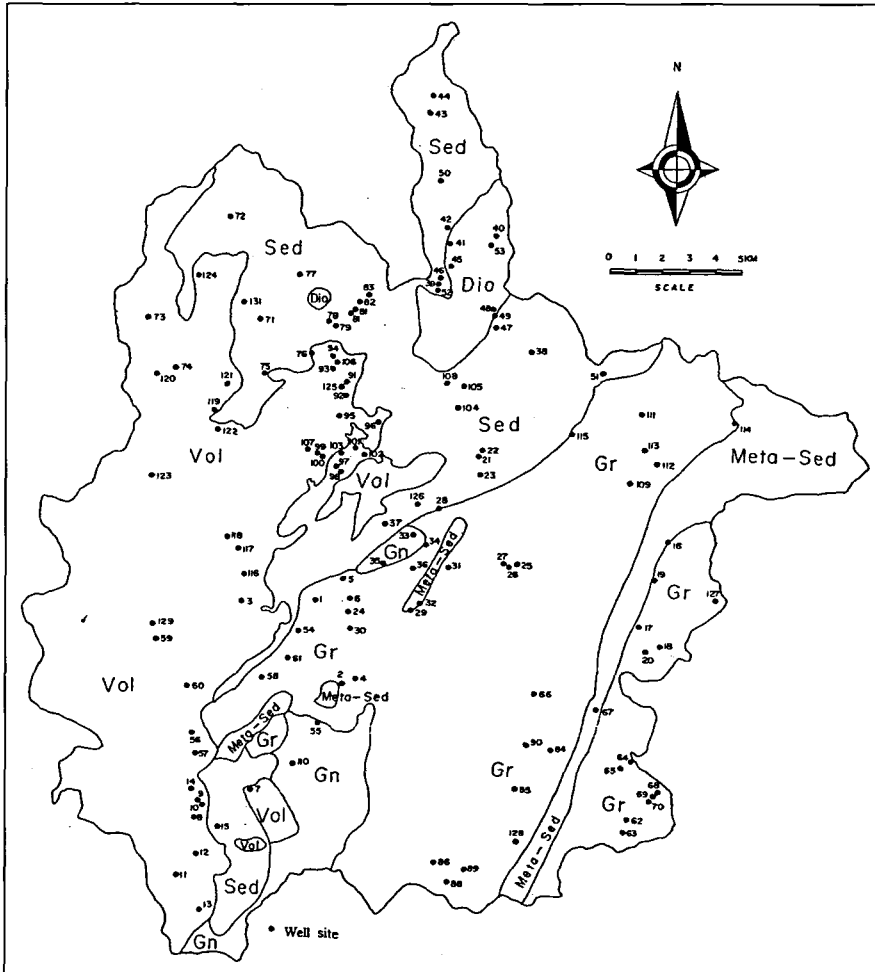


Fig. 2. Well locations of the study area.

층적층은 하천유역 연변이나 계곡을 따라 분포한다 (김동학과 이병주, 1984; 김규봉 외, 1984; 최순학 외, 1996a).

연구지역의 대표적인 지질구조는 순창전단대와 백악기 진안분지의 형성 및 진화에 관련된 단층구조들로 대별할 수 있다. 순창전단대는 연성전단대로서 이의 중심은 순창엽리상화강암과 변성퇴적암류가 접하는 경계지역에 위치한다. 전단대의 서북쪽 가장자리에서 전단대의 중심부로 갈수록 구성광물의 입도는 점차 감소되고 압쇄 엽리와 광물신장 선형구조는 점차 강렬해짐에 따라, 전단대 중심부에서는 전형적인 편암에서 볼 수 있는 강한 엽리가 발달한다. 전단대의 발달로 인해 엽리상화강암과 인접한 변성퇴적암내에는 관통상의 압쇄 조직이 잘 발달되어 있다. 백악기 단층으로는 진안분지의 남동측 경계단층을 이루는

북동-남서 방향의 단층이 대표적이다. 이 단층은 북서쪽으로 고각의 경사를 갖는 것으로 예측되며, 기반암내에 수 미터에서 수십 미터에 이르는 파쇄대를 형성하고 있다. 이 단층은 좌수향의 주향이동단층이며, 이에 정경사 이동성분의 운동이 중첩하여 발생된 것으로 해석된다. 분지의 경계단층을 자르면서 수 조 발달한 북북서-남남동 방향의 단층들은 우수향의 주향이동운동 또는 남서쪽 지괴의 하강을 일으킨 정단층운동이 발생했던 단층들로 확인되었다. 분지 경계부 근처에 분포하는 지층들은 분지의 중심축을 향하여 북서 또는 남동쪽으로 완만하게 경사져 있어, 분지규모의 대규모 향사구조가 북동-남서 방향의 축을 이루면서 발달하고 있음을 알 수 있으며, 분지의 중심부에도 동일 방향의 작은 습곡구조들이 다수 관찰된다(김동학과 이병주, 1984; 김규봉 외, 1984).

연구 방법

연구지역에서 농업 및 생활용수로 이용되는 지하수 공 130개를 대상으로 암석별 지하수공 개발 분포도 (Fig. 2)를 작성하여, 분포 암석 및 선형구조 발달과 관련된 지하수 산출 능력을 비교 검토해 보았다. 이들 130개 지하수공은 위치, 심도, 구경, 양수량, 안정 수위 등의 자료 수집이 가능한 것들이며, 이들 중 83개 공에 대하여는 양수시험이 실시되어 양수 능력 뿐 아니라 비산출량 등이 계산되었다. 지하수의 수질 특성을 파악하기 위하여 현장 및 실내분석이 실시된 지하수공은 80개이다. 이 연구에서는 지하수공들이 주로 화강암, 퇴적암, 화산암 및 섬록암지역에 분포하고 있어 이들 암석들을 대상으로 한 연구결과를 수록하였다.

선형구조 판독

지형의 구조, 양상 및 형태 등 지형지세의 특성 파악은 지질 및 지질구조의 판독에 중요한 요소가 된다. 따라서 지형지세의 3차원적인 표현과 관찰이 가능하다면 이는 지형지세 판독을 통한 지질 정보 추출에 매우 중요한 도구로 활용될 수 있다. 이 연구에서는 선형구조 해석을 위하여 1/40,000 축적의 흑백 항공사진을 스테레오스코프(stereoscope)를 이용한 3차원적인 방법으로 판독을 하였다. 이 결과를 장미도(rose diagram)에 투영한 후, 지질별 선형구조의 특성을 파악하였으며 아울러 선형구조와 지하수 산출 능력과의 관련성도 분석하였다.

수리화학 시료채취 및 분석

지하수의 수리화학적 특성을 파악하기 위하여 시료

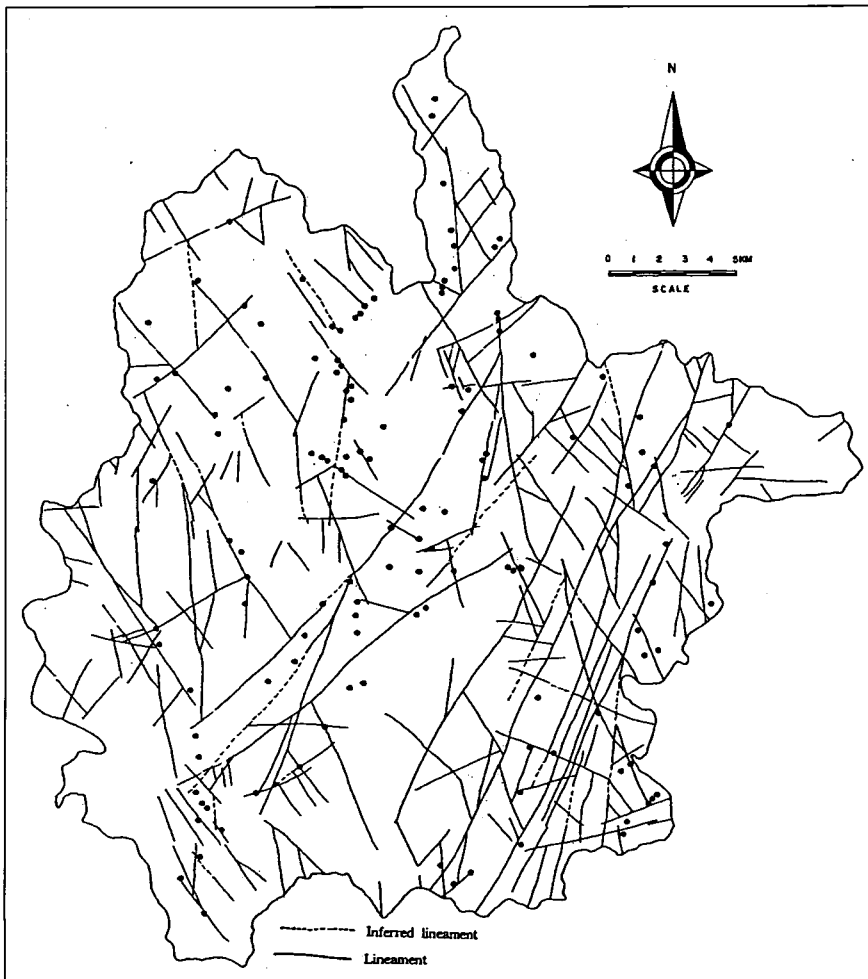


Fig. 3. Lineaments map of the study area. Dots represent the locations of groundwater wells.

채취는 현장에서 0.45 μm membrane filter를 장착한 수동펌프를 사용하여 미세부유물을 제거한 후, 양이온 분석용은 농질산으로 산 처리를 하여 1리터를, 그리고 음이온 분석용으로 1리터를 채수하였다. 물속에 용존되어 있는 기체 성분인 Free CO₂는 현장에서 페놀프탈레인 지시약과 NaOH 표준용액으로 적정하여 분석하였다. 음이온중 대기에 노출된 후 변화되기 쉬운 HCO₃와 CO₃는 현장에서 메틸 오렌지 지시약과 HCl 표준용액으로 적정하여 분석하였으며, 양이온과 음이온은 한국지질자원연구원의 Ion Chromatography (IC)와 원자흡광분석기(AAS)를 이용하여 정량 분석하였다.

연구 결과

선형구조(lineaments) 분석

선형구조 판독결과를 보면(Fig. 3), 연구지역에서 우세하게 관찰되는 선형구조의 방향성은 NNE, NNW 내지 NW, NE 방향들로서, 이들의 총 연장길이 및 발생빈도가 높게 나타난다. 이 외에도 N-S 및 E-W 방향의 선형구조가 소수 관찰된다. NNE 방향의 선형구조는 연구지역에서 가장 연장성이 좋은 것으로서, 규모가 큰 것들은 순창전단대의 연장을 따라 평행 발달하는 것들이다. 이 방향의 선형구조는 변성퇴적암류와 열리상화강암의 경계부근에 잘 발달하는 경향을 보이며, 전단대와 일치하는 단열계나 압쇄 열리면의 주향과 평행한 단열계로 확인된다. NNW 내지 NW 방향의 선형구조는 비교적 연장성이 좋고 발생빈도도 높은 것으로서 조사지역 전역에 걸쳐 암상에 무관하게 고르게 분포하는 양상을 보인다. NNW 내지 NW 방향의 주향을 갖는 선형구조는 비교적 좋은 연장성과 높은 발생빈도를 보이며, 연구지역 전역에 걸쳐 암상에 상관없이 고른 분포를 갖고 발달한다. 이 방향은 북동-남서 방향의 좌수향 주향이동운동에 수반된 우수향의 전단 단열 방향과 일치하며, 일부 지역에서는 후기에 신장단열로 재이동된 것이 확인된다. 이 방향의 선형구조들 중 일부는 백악기 지층내에 발달한 단층의 연장과 일치한다. NE 방향의 선형구조는 백악기 분지의 남동쪽 경계부에서 잘 관찰되는데, 발생빈도는 낮으나 좋은 연장성을 갖는다. 이 방향의 선형구조는 분지를 형성하였던 주 경계단층대의 이동감각과 일치하는 좌수향 주향이동성 단열계로 확인되었으며, 일부는 주 경계단층대의 연장과 일치

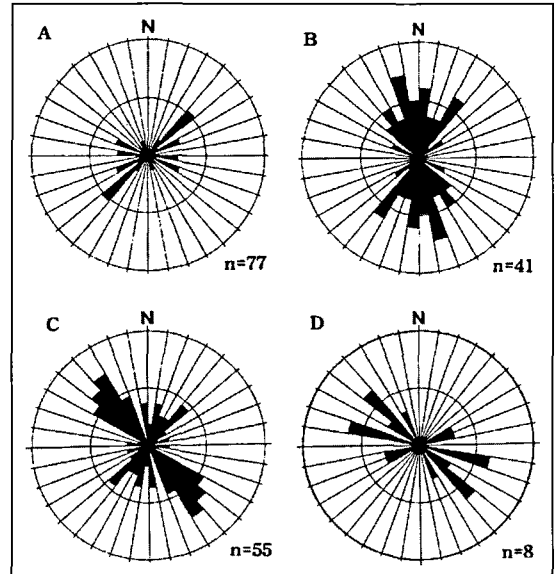


Fig. 4. Rose diagram of lineaments in the study area. A: granite, B: sedimentary rock, C: volcanic rock, D: diorite.

한다. N-S 방향의 선형구조는 총 연장길이와 발생빈도가 상대적으로 낮은 편이며 연장성도 좋은 편은 아니다. 이 방향의 단열들은 주 경계단층을 따른 좌수향 주향이동운동에 수반된 신장단열의 방향과 일치하며, 주로 백악기 지층의 분포지에서 관찰된다. 발생빈도가 낮고 총 연장길이도 제일 작은 E-W 방향의 선형구조는 대부분 신장단열로서 단열계중 최후기에 발생된 것으로 분석되었다. 상기한 방향들을 제외한 나머지 방향의 선형구조들은 대부분 연장성도 불량하고 단속적이며 국부적으로 발달한다.

선형구조 판독 결과(Fig. 3), 화강암지역에서는 84개, 퇴적암지역에서는 59개, 화산암지역에서는 47개, 그리고 섬록암지역에서는 8개의 선형구조가 확인되었으며, 이 결과는 암석의 분포 면적과 대체적으로 비례하고 있다. 이 결과를 Rose diagram에 투영한 결과를 보면(Fig. 4), 화강암지역에서는 NE 방향과 NNW 방향, 화산암지역에서는 NE 방향과 NNW 방향, 퇴적암지역에서는 NNE와 NNW 방향 그리고 섬록암지역에서는 NW방향이 우세한 것으로 나타났다. 선형구조의 발달은 화강암, 퇴적암, 화산암, 섬록암의 순으로 분포하고 있다. 그리고 화강암지역에서 확인된 선형구조중 20개의 선형구조에 34개의 지하수 공이 개발되어 있으며, 퇴적암지역에서는 20개의 선형구조에 35개의 지하수 공, 화산암지역에서는 14개의

Table 1. Direction of lineaments and groundwater yields in the study area

well No	direction	yield (m ³ /d)	geology	well No	direction	yield (m ³ /d)	geology	well No	direction	yield (m ³ /d)	geology
W1	N45E	345	gr	W109	N10W	200	gr	W94	N40W	200	sed
W2	N25W	200	gr	W112	N10W	150	gr	W95	N10E	500	sed
W6	N75W	200	gr	W115	N45W	250	gr	W103	EW	518	sed
W7	N65E	350	gr	W124	N10W	180	gr	W105	N20W	200	sed
W16	N30E	150	gr	W15	N40W	150	sed	W114	N30E	150	sed
W17	N20W	200	gr	W22	N15E	200	sed	W119	N40W	200	sed
W19	N30E	150	gr	W23	N15E	350	sed	W122	N60E	150	sed
W20	N20W	150	gr	W29	N10E	150	sed	W3	NS	200	vol
W25	N25W	300	gr	W37	N40E	300	sed	W8	N35E	100	vol
W026	N25W	200	gr	W39	N60W	150	sed	W11	N30W	250	vol
W27	N25W	250	gr	W41	NS	300	sed	W12	N5E	300	vol
W31	N10W	300	gr	W42	NS	300	sed	W12	N40W	300	vol
W33	N60W	200	gr	W44	NS	550	sed	W59	N30E	350	vol
W34	N5E	250	gr	W45	NS	450	sed	W74	N50W	200	vol
W54	N45E	400	gr	W46	N60W	700	sed	W101	N30W	280	vol
W62	N80E	400	gr	W50	NS	150	sed	W102	N60E	280	vol
W63	N80E	200	gr	W50	N20W	192	sed	W116	N60E	500	vol
W64	N20W	250	gr	W52	N30W	100	sed	W117	N30E	389	vol
W65	N20W	350	gr	W62	N15E	300	sed	W118	N30E	392	vol
W66	EW	350	gr	W72	N70E	400	sed	W121	N50W	200	vol
W68	N85E	480	gr	W72	N50W	400	sed	W123	N30E	200	vol
W69	N85E	330	gr	W75	N40W	300	sed	W124	NS	180	vol
W70	N30E	200	gr	W77	N40W	500	sed	W125	N60E	120	vol
W70	N85E	200	gr	W78	N40W	250	sed	W048	N65E	200	di
W86	NS	220	gr	W79	N40W	340	sed	W049	N65E	200	di
W88	N50E	270	gr	W82	N45W	200	sed	W053	N45E	150	di
W97	N55W	500	gr	W88	N10E	400	sed	W106	N20W	185	di
W98	N55W	500	gr	W93	N40W	350	sed	W107	N20W	200	di

gr: granite, sed: sedimentary rock, vol: volcanic rock, di: diorite

선형구조에 18개의 지하수 공이 그리고 섬록암지역에서는 8개의 선형구조중 3개의 선형구조에 5개의 지하수 공이 개발되어 있다. 그리고 지하수 부존과 관련된 선형구조는 화강암지역에서는 총 선형구조중 26%인 20개가, 퇴적암지역에서는 36%인 20개, 화산암지역에서는 38%인 14개 그리고 섬록암지역에서는 38%인 3개의 선형구조가 지하수 부존과 관련이 있는 것으로 나타났으며, 따라서 지하수 산출 빈도는 섬록암, 화산암, 화강암, 퇴적암의 순으로 나타났다. 따라서 연구지역에서는 화산암과 섬록암 분포지역에서 지하수 산출능력이 높으며, 화강암 분포지역에서는 낮은 것으로 나타났다.

선형구조의 방향과 양수량의 분포

분포암석별 양수량의 분포는 Table 1과 같다. 각 분포암석의 양수량의 평균치를 보면, 화강암지역에서

271 m³/d, 퇴적암지역 303 m³/d, 화산암지역 265 m³/d, 그리고 섬록암지역은 187 m³/d의 평균치를 보여주고 있으며 퇴적암, 화강암, 화산암, 섬록암의 순서를 나타내고 있다(Fig. 5). 분포암석별 선형구조의 방향에 따른 양수능력을 평가하기 위하여 Fig. 5와 같이 도시하였다. 그리고 암석별 양수능력을 평가하기 위하여 양수량을 300 m³/d 이상, 200-300 m³/d 그리고 200 m³/d 이하로 구분하여 분석하였다.

300 m³/d 이상의 양수량을 보여주는 선형구조의 방향은 화강암지역에서는 N45E, N65E, N80-85E, N10-25W, N55W이며, 퇴적암지역은 N30E, N50E, N80-85E, NS, N10W, N20-25W, N60W, N75W, 화산암지역은 N5E, N30E, N60E, N40W이며, 섬록암지역에서는 300m³/d 이상의 양수량을 보여주는 선형구조는 없다. 그리고 200-300 m³/d의 양수량을 보여주는 선형구조의 방향은 화강암지역에서는 N30E, N50E, N80-

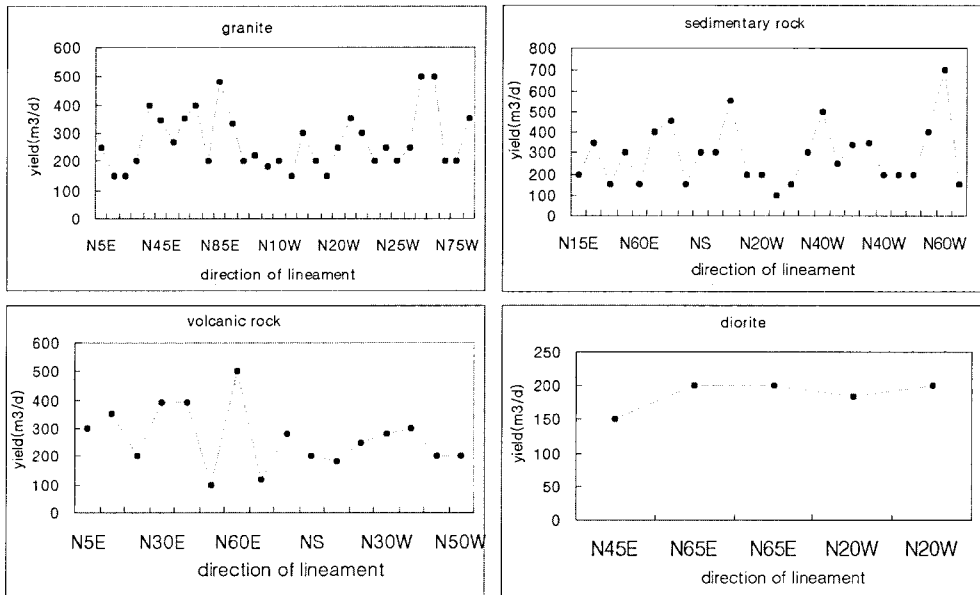


Fig. 5. The relationship between yield and direction of lineaments in each rock type.

85E, NS, N10W, N20-25W, N60W, N75W, 퇴적암지역은 N15E, N20W, N40-45W, 화산암지역은 NS, N30W, N50W이며, 섬록암지역은 N45E, N20W이며, 그리고 200m³/d 이하의 양수량을 보여주는 방향은 화강암지역에서는 N30E, N10-20W, 퇴적암지역은 N10E, N10E, N30E, N60E, NS, N20-30W, N40W이며, 화산암지역은 N35E, N60E, NS 방향이며, 섬록암지역은 N45E, N65E, N20W로 나타났다.

이 결과를 보면 화강암지역에서 양호한 양수능력을 보여주는 방향은 N45E, N65E, N80-85E, N10-25W, N55W이며, 퇴적암지역은 N30E, N50E, N80-85E, NS, N10W, N20-25W, N60W, N75W, 200-300 m³/d의 양수량을 보여주는 방향은 N15E, N20W, N40-45W, 화산암지역은 N5E, N30E, N60E, N40W, 그리고 섬록암지역은 300 m³/d 이상의 양수량은 보이지 않고 모든 선형구조의 방향에서 120-200 m³/d의 양수량을 보이고 있다.

비양수량에 의한 지하수 부존 특성 및 개발 가능성 고찰

비양수량은 양수정의 산출능력을 나타내는 척도로써 양수량과 수위 강하량의 비로 정의되며 [L2/T] 투수량계수와 정비례의 관계를 갖는다. 비양수량 산출시 수위강하는 대수층의 수두손실을 의미하므로 우물 손실 효과가 포함될 때는 정확한 비양수량을 계산할

수가 없다. 조사공들은 거의 대부분 암반 대수층 내에 위치하므로 케이싱 등에 의한 우물 손실의 요인이 거의 없는 것으로 판단된다. 수위강하가 계속 일어나는 경우에는 모든 공에 대하여 같은 양수시간의 수위강하를 적용하여야만 서로 비교할 수 있는 비양수량을 계산할 수 있으며 비양수량은 양수량과 안정수위의 증감에 따라 변한다. 이 연구에서는 비양수량을 산출하기 위하여 화강암지역에서 29개 공, 퇴적암지역 34개 공, 화산암지역 15개 공 그리고 섬록암지역 4개 공 등 총 83개의 공에 대하여 양수시험시 측정된 안정수위를 이용하여 비양수량을 산출하였다 (Table 2). 분포암석별 비양수량에 의한 지하수 부존 특성을 살펴보면 다음과 같다. 화강암지역에서는 양수량의 범위는 100-800 m³/d, 평균은 267.24 m³/d, 표준편차는 125.44이며, 비양수량의 범위는 1.22-47.06 m²/d, 평균치는 6.21 m²/d, 표준편차는 8.80이다. 퇴적암지역에서는 양수량의 범위는 90-750 m³/d, 평균은 339.65 m³/d, 표준편차는 143.38이며, 비양수량의 범위는 1.24-25.03 m²/d, 평균치는 7.82 m²/d, 표준편차는 4.86이다. 화산암지역에서는 양수량의 범위는 120-700 m³/d, 평균은 340.07 m³/d, 표준편차는 154.62이며, 비양수량의 범위는 3.00-22.88 m²/d, 평균치는 7.17 m²/d, 표준편차는 4.81이다. 섬록암지역에서는 양수량의 범위는 300-700 m³/d, 평균은 425.00 m³/d, 표준편차는 189.30이며, 비양수량의 범위는 5.77-11.32

Table 2. Specific capacity of each rock type in the study area

Well No	Well depth (m)	Depth to water level (m)	dynamic water level (m)	Yield (m ³ /d)	Specific capacity (m ² /d)	geology	Well No	Well depth (m)	Depth to water level (m)	dynamic water level (m)	Yield (m ³ /d)	Specific capacity (m ² /d)	geology
4	200	7.00	63.0	150	2.68	gr	73	138	15.50	100.0	220	2.60	sed
5	90	2.00	60.0	300	5.17	gr	75	75	0.54	55.0	300	5.51	sed
14	160	9.00	54.0	300	6.67	gr	76	75	4.00	54.0	200	4.00	sed
17	200	4.00	160.0	200	1.28	gr	77	110	5.00	54.0	500	10.20	sed
18	200	10.00	68.0	200	3.45	gr	78	114	2.63	85.0	250	3.04	sed
25	120	6.00	90.0	300	3.57	gr	79	90	5.00	60.0	340	6.18	sed
28	92	4.00	70.0	250	3.79	gr	80	180	3.70	58.0	300	5.52	sed
31	105	10.00	65.0	300	5.45	gr	81	100	7.00	58.0	750	14.71	sed
32	150	1.74	80.0	100	1.28	gr	83	200	9.00	67.0	200	3.45	sed
33	200	10.00	60.0	200	4.00	gr	92	72	5.00	45.0	530	13.25	sed
34	180	4.00	80.0	250	3.29	gr	93	80	2.00	42.0	350	8.75	sed
35	200	10.00	60.0	200	4.00	gr	95	80	6.00	48.0	500	11.90	sed
36	105	8.00	75.0	270	4.03	gr	96	102	4.93	80.0	600	7.99	sed
62	100	9.00	50.0	400	9.76	gr	97	80	4.69	50.0	500	11.06	sed
66	130	1.12	85.0	350	4.17	gr	98	89	7.00	50.0	500	11.63	sed
67	173	10.00	58.0	300	6.25	gr	99	90	7.00	62.0	300	5.45	sed
71	100	14.60	75.0	400	6.62	gr	100	90	2.91	70.0	500	7.45	sed
84	120	6.00	70.0	280	4.38	gr	103	75	4.00	45.0	518	12.63	sed
85	42	3.00	20.0	800	47.06	gr	124	100	2.66	9.9	180	25.03	sed
86	90	2.85	54.0	220	4.30	gr	125	100	3.85	24.8	250	11.96	sed
87	120	6.00	65.0	300	5.08	gr	127	100	3.40	19.9	250	15.15	sed
88	75	5.00	50.0	270	6.00	gr	128	100	2.80	16.5	120	8.76	sed
89	200	8.00	69.0	150	2.46	gr	55	137	2.17	123.0	700	5.79	vol
90	200	5.00	62.0	200	3.51	gr	56	100	3.80	60.0	250	4.45	vol
109	150	15.00	90.0	200	2.67	gr	57	157	3.00	70.0	500	7.46	vol
111	196	8.00	180.0	210	1.22	gr	58	106	2.00	60.0	350	6.03	vol
113	200	11.00	68.0	200	3.51	gr	60	100	10.00	60.0	150	3.00	vol
114	150	20.00	120.0	150	1.50	gr	61	100	2.00	70.0	400	5.88	vol
129	100	1.95	15.0	300	22.99	gr	91	75	7.00	45.0	400	10.53	vol
7	120	4.80	92.0	350	4.01	sed	108	184	8.00	50.0	300	7.14	vol
9	155	3.68	70.0	300	4.52	sed	116	110	12.00	72.0	500	8.33	vol
10	95	8.80	70.0	300	4.90	sed	117	41	3.00	20.0	389	22.88	vol
11	120	3.86	80.0	250	3.28	sed	118	89	6.00	54.0	392	8.17	vol
12	130	4.00	32.0	300	10.71	sed	120	150	10.00	69.0	250	4.24	vol
13	170	2.00	90.0	300	3.41	sed	121	145	10.00	69.0	200	3.39	vol
21	115	9.00	68.0	300	5.08	sed	123	200	8.00	59.0	200	3.92	vol
23	150	5.57	90.0	350	4.15	sed	125	100	1.51	20.6	120	6.29	vol
43	140	5.00	57.0	300	5.77	sed	40	100	4.00	65.0	400	6.56	di
44	200	7.69	80.0	90	1.24	sed	41	140	5.00	57.0	300	5.77	di
47	100	2.00	35.0	250	4.58	sed	42	93	3.50	30.0	300	11.32	di
51	103	6.00	43.0	300	8.11	sed	46	116	15.00	80.0	700	10.77	di

gr: granite, sed: sedimentary rock, vol: volcanic rock, di: diorite

m²/d, 평균치는 8.61 m²/d, 표준편차는 2.84를 보이고 있다(Table 3).

이 결과를 Fig. 6과 같이 도시한 결과 평균 양수량은 섬록암, 화산암, 퇴적암, 화강암의 순서를 보여주고 있으며, 비양수량은 화강암, 화산암, 퇴적암, 섬록

암의 순서를 보이고 있다. 이러한 결과를 보면 화강암지역은 섬록암지역보다 대수층의 양수능력은 떨어지지만 대수층의 연장성은 양호한 것으로 판단된다. 이러한 결과는 Fig. 6에서도 잘 나타나고 있다. 따라서 이러한 결과를 보면, 연구지역에서는 화강암지역,

Table 3. Statistics of yield and specific capacity in the study area

		yield (m ³ /d)	specific capacity (m ² /d)
gr(29개)	mean	267.24	6.21
	std	125.44	8.80
	minimum	100.00	1.22
	maximum	800.00	47.06
sed(34개)	mean	339.65	7.82
	std	143.38	4.86
	minimum	90.00	1.24
	maximum	750.00	25.03
vol(15개)	mean	340.07	7.17
	std	154.62	4.81
	minimum	120.00	3.00
	maximum	700.00	22.88
di(4개)	mean	425.00	8.61
	std	189.30	2.84
	minimum	300.00	5.77
	maximum	700.00	11.32

gr: granite, sed: sedimentary rock, vol: volcanic rock, di: diorite, std: standard deviation

퇴적암지역, 화산암지역, 섬록암지역 순서로 대수층의 발달상태가 양호한 것으로 판단된다.

지하수의 지화학적 특성

연구지역에 분포하는 지하수의 수리화학 특성을 파악하기 위하여, 지하수 시료를 화강암지역에서 36개, 퇴적암지역 25개, 화산암지역 15개 그리고 섬록암지역 4개 등 총80개를 채취하여 지하수의 주요 구성성분인 K, Na, Ca, Mg, HCO₃, SO₄, Cl, NO₃, SiO₂에 대하여 분석을 수행하였다(Table 4) 분석결과는 Table 4와 같다. 이 분석결과를 Table 5와 같이 작성하여 분포암석별 수리화학 특성을 파악하였으며 암석별 각 성분들의 지화학적 특성은 다음과 같다. 암석별 각 성분의 평균치(Table 5)를 보면 K성분은 화강암지역에서 1.95 ppm으로 가장 높고 화산암지역에서 0.97 ppm으로 가장 낮다. Na는 섬록암지역에서 37.13 ppm으로 가장 높고 화산암지역에서 13.69 ppm으로 가장 낮다. 또 석회암 및 석고 등과 관련이 있는 Mg는 화강암지역에서 4.19 ppm로 가장 높고 섬록암지역에서 2.69 ppm로 가장 낮으며, HCO₃는 섬록암지역에서 133.5 ppm으로 가장 높고 화산암지역에서 72.81 ppm으로 가장 낮다. 그리고 황화광물의 산화작용과 석고/무수석고 또는 다른 황화광물의 해리에 의해 나타나

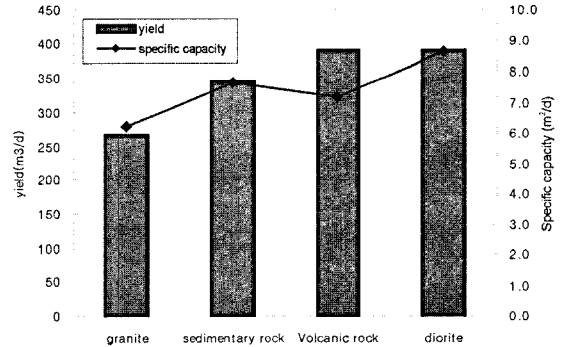


Fig. 6. Average values of yield and specific capacity in each rock type.

는 SO₄는 섬록암지역에서 16.75 ppm으로 가장 높고 화강암지역에서 7.92 ppm이 가장 낮으며, 생활 오수 및 가축의 배설물에 의한 오염에 기인한 것으로 판단되는 NO₃는 화산암지역에서 15.43 ppm으로 가장 높다. 그리고 Si는 지각 구성 원소중 산소 다음으로 지하수에서 용해되기도 하며 지열의 지시원소로 이용되기도 한다. Si 함량은 지하수에서는 평균 1 ppm이다(Davis and Dewiest, 1967). SiO₂는 화산암지역에서 20.14 ppm으로 가장 높고 섬록암지역에서 14.06 ppm으로 가장 낮다(Fig. 7). 위의 결과를 종합하면 평균 함량으로 볼때 K성분은 화강암, 퇴적암, 섬록암, 화산암, Na는 섬록암, 화강암, 퇴적암, 화산암, Ca는 화산암, 퇴적암, 화강암, 섬록암, Mg는 화강암, 퇴적암, 화산암, 섬록암, HCO₃는 섬록암, 퇴적암, 화강암, 화산암, Cl은 화강암, 퇴적암, 화산암, 섬록암, SO₄는 섬록암, 화산암, 퇴적암, 화강암, NO₃는 화강암, 화산암, 퇴적암, 퇴적암의 순서를 보이고 있다. 이러한 결과를 보면 K와 Mg를 제외한 성분들은 분포 지질에 따라 함량의 분포가 다양하게 나타나고 있다. 이러한 현상은 분포 지질과, 암맥, 파쇄대, 선형구조 등 대수층의 분포상태 및 지하수 유동에 기인된 것으로 판단된다.

분석결과를 토대로 하여 연구지역에 분포하는 지하수의 수질의 유형 특성을 파악하기 위하여 양이온인 Na, K, Ca, Mg과 음이온인 HCO₃, Cl, SO₄, CO₃의 함량 비율을 epm으로 환산한 후, Piper의 diagram에 투영하였다. 분포암석별 유형을 보면 화강암지역은 Mg와 Cl의 함량이 높은 Ca-Na-HCO₃형, 퇴적암지역은 K, Cl, HCO₃의 함량이 높은 Ca-Na-HCO₃형, 화산암지역은 Ca와 SO₄의 함량이 높은 Ca-Na-HCO₃-SO₄형, 그리고 섬록암지역은 Na, SO₄의 함량이 높은

Table 4. Hydrochemistry of groundwaters in the study area

well No	K	Na	Ca	Mg	HCO ₃	CO ₃	CO ₂	Cl	SO ₄	NO ₃	SiO ₂	geology
3	1.69	10.00	30.7	3.78	91.5	0.0	2.2	21.5	5.0	7.5	18.70	gr
4	1.16	6.40	7.8	2.17	38.1	0.0	3.9	4.5	3.6	0.5	13.80	gr
5	1.06	8.60	20.0	3.51	59.5	0.0	13.2	7.9	6.0	7.5	15.90	gr
8	2.20	7.58	8.6	2.35	32.0	0.0	22.6	10.3	5.3	8.9	13.92	gr
15	3.90	30.00	38.7	11.9	54.9	0.0	28.6	92.6	12.2	9.5	25.80	gr
17	1.38	30.50	7.5	0.55	16.8	0.0	4.5	5.1	7.6	2.3	14.10	gr
18	2.58	10.30	25.8	6.49	82.4	0.0	9.9	13.8	1.9	6.0	24.10	gr
19	2.73	14.60	27.5	5.30	125.1	0.0	14.3	16.5	8.9	14.2	24.60	gr
24	0.68	11.69	8.0	1.51	51.9	0.0	18.2	10.0	0.5	5.8	29.90	gr
25	1.04	15.50	41.3	3.50	112.9	0.0	12.7	16.3	7.7	4.3	16.50	gr
26	3.52	1.51	25.3	4.91	38.1	0.0	20.4	15.4	11.3	46.0	25.88	gr
28	0.64	9.30	17.0	1.81	54.9	0.0	6.1	8.6	1.9	7.7	18.60	gr
30	1.21	8.70	18.5	3.40	94.6	0.0	4.4	8.1	4.2	0.2	19.60	gr
31	2.90	8.10	18.4	4.36	47.3	0.0	9.9	13.0	13.4	5.8	10.60	gr
32	5.90	14.30	40.9	7.66	149.5	0.0	6.6	26.6	14.3	7.5	0.04	gr
33	0.80	10.30	12.8	3.10	42.7	0.0	6.6	9.4	6.2	20.3	26.50	gr
35	0.94	10.60	16.3	2.53	59.5	0.0	1.7	9.0	3.4	18.6	17.70	gr
54	0.95	10.80	34.3	3.12	60.1	0.0	10.5	10.6	4.6	15.5	20.40	gr
63	1.13	30.00	44.2	5.33	35.1	0.0	17.6	94.1	3.0	12.3	2.96	gr
64	1.55	20.30	33.3	4.68	88.5	0.0	24.8	28.0	5.3	5.8	30.50	gr
66	1.21	11.00	41.5	4.89	149.5	0.0	6.6	12.3	4.5	3.9	22.20	gr
67	1.98	23.20	49.8	7.65	103.7	0.0	4.4	43.5	7.8	12.9	32.80	gr
84	1.22	13.60	14.9	4.36	85.4	0.0	1.1	10.7	8.8	0.1	2.27	gr
85	1.25	15.40	20.7	6.49	135.8	0.0	3.9	4.6	2.8	0.0	15.60	gr
86	1.11	16.40	26.2	2.72	42.7	0.0	3.3	15.3	5.7	4.0	15.50	gr
88	1.35	9.40	26.5	2.55	140.3	0.0	1.10	4.7	2.3	0.5	23.40	gr
89	13.6	31.90	27.0	6.44	38.1	0.0	35.8	19.1	13.9	6.4	22.46	gr
90	1.16	9.80	19.6	1.87	73.2	0.0	1.10	11.4	0.6	5.4	21.70	gr
91	1.72	19.60	29.0	5.31	73.2	0.0	19.8	25.3	12.9	40.9	25.80	gr
109	2.13	12.00	21.9	4.72	71.7	0.0	3.9	18.4	8.3	18.8	7.90	gr
110	1.26	48.20	13.7	5.34	54.9	0.0	2.8	5.6	43.6	0.3	13.70	gr
111	0.73	10.20	26.3	5.96	77.8	0.0	13.2	16.0	3.3	8.6	22.10	gr
112	2.11	14.40	34.5	4.41	38.1	0.0	6.1	14.7	9.5	23.1	26.52	gr
113	0.46	108.0	1.4	0.63	189.2	0.0	3.3	28.3	25.4	0.0	11.10	gr
114	0.64	14.60	20.0	2.33	103.7	0.0	12.1	10.5	3.8	1.5	19.10	gr
126	0.43	14.00	25.7	3.10	119.0	0.0	12.5	7.6	5.9	1.8	16.60	gr
10	1.87	7.80	8.9	3.78	25.9	0.0	3.9	7.7	1.4	23.4	32.51	sed
22	1.50	3.86	5.3	1.35	27.5	0.0	13.2	4.0	7.0	2.3	9.05	sed
23	1.50	6.51	21.7	4.19	78.3	0.0	1.1	5.9	5.2	3.6	18.82	sed
29	1.10	8.20	20.4	2.89	45.8	0.0	2.8	5.7	4.6	8.5	16.20	sed

gr: granite, sed: sedimentary rock, vol: volcanic rock, di: diorite

Ca-Na-HCO₃형이 우세한 것으로 나타났다(Fig. 8).

결론

1. 선형구조는 화강암지역에서 NE 방향과 NNW 방향, 퇴적암지역에서 NNE 와 NNW 방향, 화산암지역에서 NE 방향과 NNW 방향 그리고 섬록암지역에서는 NW방향이 우세한 것으로 나타났다

2. 분포지질별 300 m³/d이상의 양호한 양수량을 보이는 선형구조의 방향은 화강암지역에서 N45E, N65E, N80-85E, N10-25W, N55W, 퇴적암지역은 N30E, N50E, N80-85E, NS, N10W, N20-25W, N60W, N75W, 화산암지역은 N5E, N30E, N60E, N40W이었다. 섬록암지역에서는 300 m³/d이상의 양수량을 보이는 선형구조는 없으며 200-300 m³/d의 양수량을 보여주는 방향은 N45E, N20W으로 나타났다.

Table 4. Continued

well No	K	Na	Ca	Mg	HCO ₃	CO ₃	CO ₂	Cl	SO ₄	NO ₃	SiO ₂	geology
37	1.50	8.20	22.1	2.40	61.0	0.0	0.6	3.8	9.3	0.6	20.45	sed
38	1.10	9.10	33.8	5.86	167.8	0.0	3.9	4.0	6.9	0.3	20.80	sed
42	1.46	7.60	34.0	2.89	47.3	0.0	2.2	9.8	24.6	6.9	9.70	sed
43	0.47	14.70	19.9	1.63	77.8	0.0	2.8	3.6	17.7	0.3	15.00	sed
46	0.67	7.50	47.6	8.24	164.8	0.0	2.8	7.6	26.4	0.0	15.30	sed
48	1.62	15.60	45.4	9.87	93.1	0.0	6.1	10.3	14.1	6.4	21.35	sed
50	1.13	32.30	9.5	2.95	56.4	0.0	1.7	3.5	8.7	0.9	10.60	sed
71	0.93	12.00	1.1	0.04	242.6	0.0	3.6	23.3	8.6	0.2	14.00	sed
72	1.50	95.10	1.5	0.98	90.0	0.0	1.7	3.7	5.9	0.3	11.47	sed
73	1.52	4.55	13.1	1.27	28.9	0.0	1.7	5.2	9.8	2.6	11.27	sed
75	1.01	13.50	40.7	6.42	128.1	0.0	1.1	19.3	13.2	0.9	15.00	sed
76	1.00	12.30	43.8	6.20	125.1	0.0	2.2	26.1	18.5	0.9	13.60	sed
77	1.45	10.60	26.1	2.96	115.9	0.0	2.2	5.5	19.5	0.4	14.50	sed
81	0.48	13.70	38.0	6.40	149.5	0.0	3.3	8.0	25.0	0.3	14.60	sed
83	6.72	3.07	28.2	2.81	83.9	0.0	6.1	3.6	22.2	0.0	26.10	sed
93	2.40	36.00	3.6	1.25	63.5	0.0	2.4	25.4	6.5	0.2	10.80	sed
94	1.60	50.00	3.5	1.34	38.8	0.0	2.1	13.0	9.7	0.2	12.80	sed
103	1.82	7.92	23.4	5.13	36.6	0.0	35.2	12.2	13.7	28.5	13.15	sed
108	0.84	8.00	49.5	6.15	146.4	0.0	6.1	18.9	18.9	3.4	18.70	sed
120	1.80	14.50	41.8	5.20	106.8	0.0	3.3	4.6	31.3	0.0	22.25	sed
124	3.10	19.20	19.9	2.78	73.2	0.0	8.8	16.8	6.4	2.5	10.20	sed
11	0.43	10.70	18.5	1.07	62.5	0.0	1.1	4.3	18.2	0.0	22.30	vol
13	0.16	12.10	28.8	1.07	62.5	0.0	1.7	3.3	53.2	0.0	33.10	vol
41	1.50	8.66	30.1	6.84	59.5	0.0	6.1	12.7	6.5	46.3	21.60	vol
51	1.50	3.95	15.2	2.21	41.2	0.0	1.1	4.3	4.6	2.1	9.90	vol
57	0.67	23.40	9.0	0.19	16.8	0.0	0.0	6.7	12.1	1.6	15.20	vol
58	0.47	13.80	23.4	0.81	27.5	0.0	1.7	7.0	13.8	0.0	21.20	vol
59	1.92	10.60	24.7	3.36	32.0	0.0	1.7	8.6	5.6	12.1	22.14	vol
91	1.80	26.80	30.4	4.71	91.5	0.0	2.8	13.0	19.9	22.9	13.75	vol
96	1.13	19.20	48.9	2.10	74.7	0.0	21.5	31.3	22.7	44.3	18.70	vol
108	1.90	11.00	26.2	1.55	87.0	0.0	1.1	5.7	19.6	0.0	15.06	vol
116	0.16	11.20	26.7	2.18	115.9	0.0	1.1	3.5	4.4	0.1	20.70	vol
117	0.70	10.30	14.3	4.10	76.3	0.0	4.4	9.5	2.6	2.7	26.30	vol
118	0.42	14.30	14.4	2.79	79.3	0.0	6.0	5.8	7.3	1.8	21.80	vol
119	0.42	19.80	27.1	7.70	155.6	0.0	3.3	3.1	20.9	0.0	17.70	vol
125	1.31	9.50	30.4	4.85	109.8	0.0	1.1	5.8	3.5	1.9	22.70	vol
40	1.87	15.10	28.7	5.88	106.8	0.0	2.8	6.5	19.0	0.2	13.41	di
44	1.70	41.20	12.8	1.07	94.6	0.0	3.0	4.1	17.2	0.3	15.44	di
47	0.98	44.80	13.8	1.62	170.9	0.0	6.0	9.1	14.8	0.1	14.50	di
49	0.87	47.40	15.2	2.18	161.7	0.0	2.8	9.6	16.0	0.0	12.90	di

gr: granite, sed: sedimentary rock, vol: volcanic rock, di: diorite

3. 양수량은 섬록암, 화산암, 퇴적암, 화강암의 순서를 보여주고 있다. 비양수량은 화강암, 화산암, 퇴적암, 섬록암의 순서를 보이고 있으며, 화강암지역은 섬록암지역보다 대수층의 양수능력은 떨어지지만 대수층의 연장성은 양호한 것으로 판단된다. 연구지역에서는 화강암지역, 퇴적암지역, 화산암지역, 섬록암지역 순서로 대수층의 발달상태가 양호한 것으로 판단된다.

4. 분포암석별 지하수의 주성분을 비교한 결과 화강암에서는 Mg와 Cl, 섬록암은 Na와 SO₄, 화산암은 Ca가 가장 높은 함량을 보이고 있으며, 화산암에서는 Na와 K, 섬록암은 Ca, Cl, Mg, 화강암은 SO₄가 가장 낮은 함량을 보이고 있다. 분포암석에 따라 함량의 분포가 다양하게 나타나고 있다. 이러한 현상은 분포암석, 대수층의 분포 및 지하수 유동에 기인된 것으로 판단된다.

Table 5. Statistics of hydrochemical data of groundwaters in the study area

K	Na	Ca	Mg	HCO ₃	CO ₂	Cl	SO ₄	NO ₃	SiO ₂		
gr	mean (ppm)	1.95	17.80	24.32	4.19	78.66	10.25	18.60	7.92	9.30	18.58
	std	2.25	17.69	11.41	2.22	40.04	8.42	19.85	7.75	10.31	7.66
	minimum (ppm)	0.43	1.51	1.36	0.55	16.78	1.10	4.54	0.48	0.00	0.04
	maximum (ppm)	13.60	108.00	49.80	11.90	189.16	35.77	94.10	43.60	46.00	32.80
sed	mean (ppm)	1.42	16.64	24.42	3.43	81.80	4.44	10.13	14.19	6.25	16.69
	std	1.09	16.83	13.98	2.37	48.66	6.52	7.37	9.94	11.73	6.37
	minimum (ppm)	0.06	3.07	1.09	0.04	16.78	0.00	3.32	1.39	0.00	1.97
	maximum (ppm)	6.72	95.10	49.50	9.87	242.55	35.21	31.30	53.20	46.33	33.10
vol	mean (ppm)	0.97	13.69	24.54	3.04	72.81	3.63	8.29	14.32	9.06	20.14
	std	0.62	5.88	9.31	2.14	35.53	5.08	6.85	12.49	15.43	5.36
	minimum (ppm)	0.16	3.95	9.00	0.19	16.78	0.00	3.05	2.64	0.00	5.36
	maximum (ppm)	1.92	26.80	48.90	7.70	155.60	21.46	31.30	53.20	46.33	33.10
di	mean (ppm)	1.36	37.13	17.63	2.69	133.48	3.63	7.33	16.75	0.13	14.06
	std	0.44	12.91	6.45	1.88	33.24	1.38	2.22	1.54	0.11	0.98
	minimum (ppm)	0.44	12.91	6.45	1.07	33.24	1.38	2.22	1.54	0.00	0.98
	maximum (ppm)	1.87	47.40	28.70	5.88	170.85	6.00	9.64	18.96	0.30	15.44

gr: granite, sed: sedimentary rock, vol: volcanic rock, di: diorite, std: standard deviation

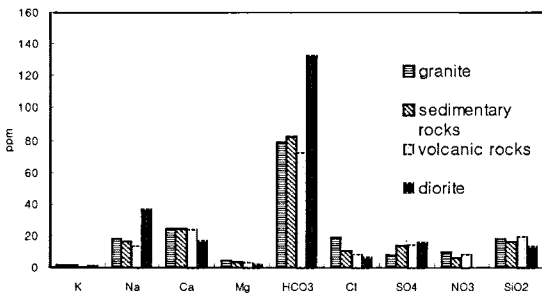


Fig. 7. Comparison of average values of chemical elements in each rock type in the study area.

5. 지하수의 유형은 화강암, 퇴적암 및 섬록암은 Ca-Na-HCO₃형, 그리고 화산암은 Ca-Na-HCO₃-SO₄형을 보여주고 있으며, 전체적으로 연구지역 지하수의 수질 유형은 Ca-Na-HCO₃형이 우세한 것으로 나타났다.

참고 문헌

김규범, 조민조, 이강근, 2003, REA를 고려한 Lineament density map의 작성 방안 연구. 한국지하수도 양환경학회, 춘계학술대회, 97-99.
 김규봉, 최위찬, 황재하, 김정환, 1984, 오수도폭 지질보고서(1:50,000). 한국동력자원연구소,
 김동학, 이봉주, 1984, 남원도폭 지질보고서(1:50,000). 한국 동력자원연구소.
 최순학, 이동우, 김연기, 함세영, 김윤종, 홍영국, 조민조, 김석중, 조병욱, 박성원, 이사로, 조진동, 박영 수, 임무택, 성기성, 박인화, 최용석, 권무창, 김상곤, 임무수, 오

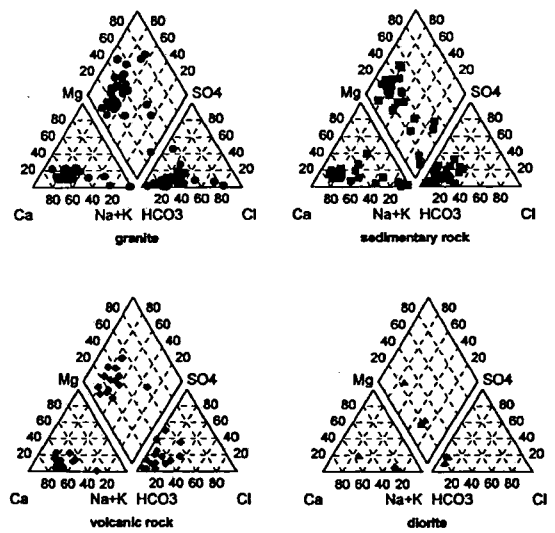


Fig. 8. Piper diagram for representing analysis of water quality in each rock type in the study area.

수정, 하명호, 김순길, 신현모, 1996a, 지하수부존조사연구(임실지역 : 한국수문지질도 제7권). 한국자원연구소, 최순학, 함세영, 김연기, 1996b, 임실지역의 지하수부존특성. 대한지하수환경학회 정기총회 및 학술발표 회, 64-67.
 수자원공사, 2002, 수자원 통계연보.
 Chi, K., 1994, A study on the extraction of groundwater potential area utilizing the remotely sensed data. Journal of the Korean Society of Remote Sensing, 10 (2), 109-120.
 Davis, S.N. and DeWiest, R.J.M., 1967, Hydrology. 2nd

eds., New York, 463 p.
 Loisel, M. and Evans, D., 1995, Fracture density distributions and well yields in coastal marine. Ground Water, 33 (2), 190-195
 Offiong, O.E. and Edet, A.E., 1998, Water quality assessment in Akpabuyo, Cross River Basin South-Eastern Nigeria. Environmental Geology, 34 (2/3), 167-173.

Sami, K., 1996, Evaluation of the variations in borehole yield from fracture Karoo Aquifer, South Africa. Ground Water, 34 (1), 114-120.
 Stephen, B.M., Kenneth, C.H., and Donald U.W., 1994, A method of collecting and analyzing lineaments for regional scale fractured-bedrock aquifer studies. Ground Water, 32 (6), 884-894.

2004년 1월 8일 원고 접수
 2004년 5월 22일 수정원고 접수
 2004년 5월 22일 원고 채택



김연기 (Kim Youn Ki)
 생년월일: 1950. 5. 24
 학력: 고려대학교 지질학과 (학사)
 고려대학교 지질학과 (석사)
 Herzen Pedagogical University of
 Peterburg(Ph.D)
 현 한국지질자원연구원 책임연구원
 E-mail: kyk@kigam.re.kr
 Tel: 042-868-3076
 전공분야: 수리지질



조민조 (Cho Min Joe)
 생년월일: 1948.11.13
 학력: 서울대학교 지질학과 (학사)
 서울대학교 지질학과 (석사)
 전북대학교 지질학과 (박사)
 현 한국지질자원연구원 책임연구원
 E-mail: minjoe@kigam.re.kr
 Tel: 042-868-3071
 전공분야: 수리지질



문상호 (Moon Sang Ho)
 생년월일: 1959. 05. 17
 학력: 서울대학교 지질학과 (학사)
 서울대학교 지질학과 (석사)
 서울대학교 지질학과 (박사)
 현 한국지질자원연구원 책임연구원
 E-mail: sangho@kigam.re.kr
 Tel: 042-868-3372
 전공분야: 수리지질