

지하수 기초조사를 위한 경북 영천지역 지하수의 환경동위원소 특성 연구

김건영¹⁾ · 고용권¹⁾ · 배대석¹⁾ · 원종호²⁾ · 임만빈³⁾

1. 서 론

일반적으로 지하수의 수리화학적 특징은 지하수 부존지역 기반암의 암석화학적 특성과 구성광물 및 지질 구조 등의 지질학적 특성에 의해 영향받으며 동일한 지질이라 하더라도 지하수 부존 심도나 주변 오염원의 존재 등에 따라 변화한다. 따라서 특정지역에 부존하는 지하수의 수질 특성 및 생성과정을 이해하기 위해서는 수리화학적 및 환경동위원소적 특성의 시간적, 공간적 변화양상을 체계적으로 연구해야 한다. 특히 심층에 부존하는 암반지하수의 경우는 기반암 구성광물의 조성과 반응성이 매우 중요하며 천층지하수 및 지표수의 혼입과정 또한 지하수의 수리화학적 특징에 영향을 주는 중요한 요인이다. 이에 관하여 연구지역내에 부존하는 여러 유형별 자연수 (암반지하수 또는 심층지하수, 충적층지하수 또는 천층지하수, 지표수)를 체계적으로 채수하고, 이들에 대하여 환경동위원소 분석 연구를 수행하였다.

2. 결과 및 토의

영천 지역 물시료들에 대한 산소 및 수소 동위원소 분석결과를 살펴보면 착정공 지하수들과 이와 근접 지역의 지표수들의 산소 동위원소조성은 각각 $-10.0 \sim -6.4\%$, $-7.0 \sim -6.3\%$ 이며, 수소 동위원소조성은 각각 $-69.3 \sim -45.8\%$, $-51.8 \sim -47.5\%$ 이다. 충적층 지하수와 암반 지하수간에는 동위원소 값에서 큰 차이를 보이지는 않지만, 이들 지하수들에 비해 지표수들은 대체로 더 무거운 값을 보여주고 있어 지하수들이 심도가 깊은 즉, 충전고도가 더 높음을 나타낸다. 암반 지하수들 중 일부 시료들 (BH-3, 5, 6)을 제외한 나머지 지하수들은 대체로, 시료채취깊이가 증가할수록 더 낮은 동위원소 값을 보여준다. 따라서 이러한 특징은 지하수의 충전고도가 높을수록 동위원소 조성이 더 낮은 값을 보이는 특징과 잘 부합한다. 암반 지하수들 중 화학적으로 다른 시료들과 구분되는 시료 BH-1과 BH-12의 경우 산소 및 동위원소 값에서도 다른 시료들과 구분된 값을 나타내고 있다. 이들 두 시료들의 동위원소 값들은 다른 시료들에 비해 1 ~ 2% 정도 더 낮은 값을 나타낸다. 장기 관측공들의 산소 및 수소 동위원소값들은 각각 $-11.0 \sim -8.2\%$, $-74.9 \sim -59.0\%$ 로 착정공 지하수들에 비해 대체로 낮은 값들을 보이고 있다.

영천 지역 자연수 시료들의 분석결과에 대한 $\delta^{18}\text{O}$ 와 δD 의 분포를 살펴보면 (Fig. 1) 모든 시료들이 세계 강우 직선에 평형하게 도시되어 지표수 및 모든 지하수들이 강우 기원

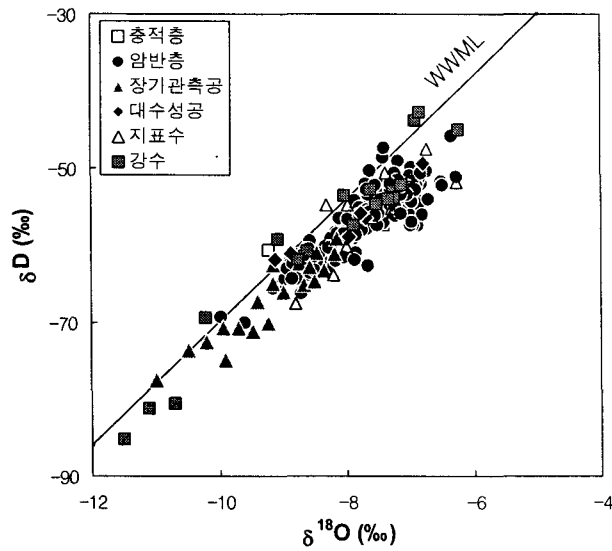
주요어: 영천, 지하수, 수소-산소 동위원소, 삼중수소

1) 한국원자력연구소(kimgy@kaeri.re.kr)

2) 한국수자원공사

3) 현대엔지니어링(주)

임을 나타내고 있다. Fig. 1에 도시되어 있듯이 착정공 지하수들과 지표수들의 산소 및 수소 동위원소 값들은 서로 중첩되어 구분되지 않지만, 장기 관측공 지하수들은 대체로 낮은 값들을 보여주며 서로 구분되는 특징을 보여주고 있다. 또한 암반지하수에 대한 심도별 변화양상을 살펴보면 대부분의 암반 지하수들은 심도에 따른 동위원소 조성의 변화양상을 보여주지 않으며, 대체로 주변 지표수나 천부지표수들과 유사한 값을 보여주어 이들의 혼입가능



Borehole No.	Sampling Date	Total depth (m)	Sampling depth (m)	δ ¹⁸ O (‰)	δ ² H (‰)	Tritium (TU)	Sampling Date	δ ¹⁸ O (‰)	δ ² H (‰)	Tritium (TU)
충적층지하수										
BH-2	01-6-14	10	5	-8.1	-68.9	6.1	01-9-12	-8.6	-63.1	1.8
BH-4	01-6-13	11	5	-7.4	-54.9	8.1	01-9-12	-7.4	-57.4	8.1
암반지하수										
BH-3	01-6-6	80	10	-6.4	-45.8	10.6	01-9-13	-7.3	-51.2	11.0
			50	-6.3	-61.0	11.0		-6.5	-52.1	12.4
BH-5	01-6-7	32	10	-8.1	-66.4	7.3	01-9-12	-7.8	-58.0	8.8
			30	-7.4	-46.5	6.3		-7.8	-56.1	7.6
BH-6	01-6-6	100	20	-7.0	-42.7	7.4	01-9-13	-7.2	-58.2	7.0
			40	-6.7	-40.3	7.9		-7.0	-56.9	7.3
			70	-7.4	-57.0	7.8		-7.7	-56.4	7.5
			95	-6.5	-51.7	7.1		-7.0	-52.4	7.8
BH-7	01-6-13	100	10	-6.9	-54.1	12.6	01-9-12	-7.9	-58.6	4.4
			40	-6.8	-51.9	10.9		-7.9	-61.8	3.6
			70	-8.2	-58.3	3.4		-9.2	-65.5	3.5
			95	-8.6	-59.4	7.3		-9.0	-64.4	2.9
BH-8	01-6-7	80	10	-7.1	-51.7	8.6	01-9-12	-7.3	-54.4	6.8
			40	-6.9	-51.3	7.9		-7.5	-56.8	7.0
			70	-7.1	-51.6	6.6		-7.5	-57.4	7.3
BH-9	01-6-8	100	10	-7.9	-59.2	2.0	01-9-13	-8.0	-59.4	0.3
			40	-7.9	-57.0	2.0		-8.0	-58.5	0.1
			70	-8.2	-60.0	0.1		-8.2	-60.1	0.0
			95	-8.3	-59.1	0.0		-8.8	-62.1	0.9
BH-10	01-6-7	100	15	-7.0	-51.8	8.5	01-9-13	-7.0	-51.7	6.4
			40	-7.1	-51.3	7.8		-7.2	-53.0	10.3
			70	-7.1	-51.4	9.1		-7.1	-52.2	8.2
			95	-7.0	-49.8	9.5		-7.1	-53.6	8.4
BH-11	01-6-13	80	10	-7.6	-54.5	9.2	01-9-13	-8.0	-56.6	8.8
			40	-7.9	-54.1	8.1		-7.7	-56.6	10.6
			60	-8.6	-62.4	1.8		-8.5	-61.5	0.6
			110	-8.6	-61.7	2.0		-8.9	-62.9	0.8
BH-12	01-6-7	120	10	-6.7	-41.7	2.2	01-9-13	-6.6	-43.0	1.7
			40	-8.8	-61.2	1.4		-8.4	-61.8	1.3
			60	-8.6	-62.4	1.8		-8.5	-61.5	0.6
			80	-8.6	-61.7	2.0		-8.9	-62.9	0.8
BH-1	01-6-6	80	10	-7.9	-58.3	3.1	01-9-13	-8.0	-59.3	3.1
			40	-8.6	-63.1	1.6		-8.3	-60.1	1.5
			70	-10.0	-69.3	0.0		-9.6	-70.1	0.2
지표수										
BH-6	01-6-14			-6.3	-51.8	8.4	01-9-13	-6.3	-56.1	6.3
BH-8	01-6-13			-6.7	-47.5	9.5	01-9-12	-6.0	-54.7	5.8
BH-12	01-6-13			-7.0	-50.9	8.3	01-9-13	-6.3	-54.7	5.5
강수										
성덕내	01-6-14						01-9-13	-8.6	-60.8	5.2
BH-8	01-6-13						01-9-13	-6.2	-49.0	4.3
BH-12	01-6-13						01-9-13	-6.6	-61.9	4.9

Fig. 1. δD versus $\delta^{18}O$ diagram of various kinds of waters from the Yeongcheon area.

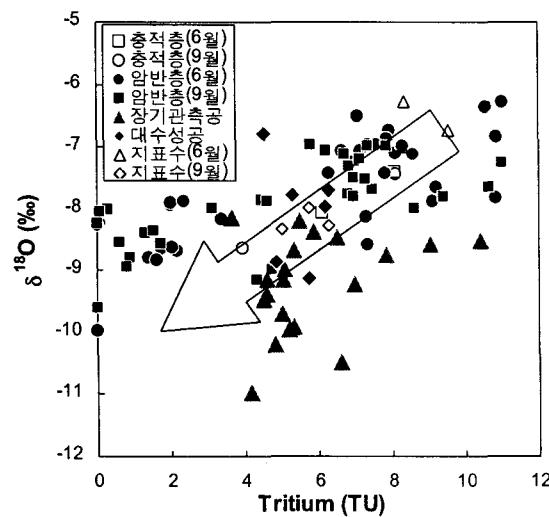


Fig. 2. Tritium versus $\delta^{18}O$ contents of various kinds of waters from the Yeongcheon area.

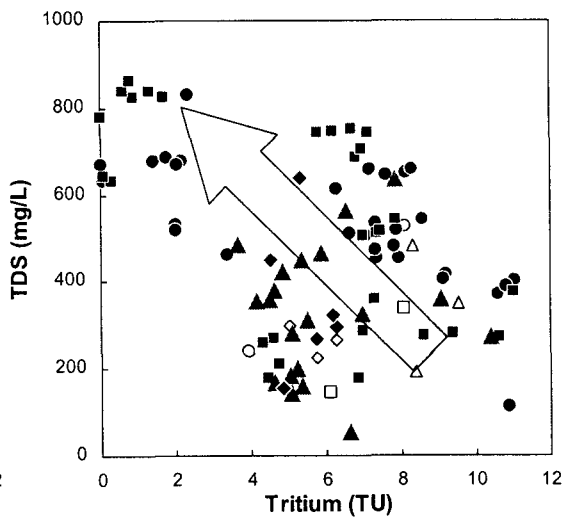


Fig. 3. Tritium versus TDS of various kinds of waters from the Yeongcheon area.

성을 지시하고 있다.

지하수의 상대적인 체류시간을 나타내주는 삼중수소에 대한 분석결과를 살펴보면 지표수의 삼중수소 값은 8.3 ~ 9.5 TU이며 충적층 지하수들 (BH-2, BH-4)의 삼중수소 함량도

6.1 ~ 8.1 TU로 주변 지표수의 값과 큰 차이를 보이지 않는다. 이는 충적층 지하수들의 관정깊이가 매우 낮기 때문에 주변 지표수가 직접적으로 유입된 것으로 생각할 수 있다. 영천 지역 암반 지하수들 중 일부 시료를 제외하고는 대부분의 지하수들은 3.4 ~ 12.9 TU로 주변 지표수들과 큰 차이를 보이지 않으며 대체로 높은 삼중수소 값을 나타내어 이들 지하수들은 상대적으로 체류시간이 짧은 물임을 나타낸다. 암반 지하수들 중 BH-1, BH-9, BH-12 지하수들의 삼중수소 함량은 0.0 ~ 3.1 TU로 다른 암반 지하수들에 비해 상당히 낮은 값을 나타낸다. 이는 이들 지하수의 상대적인 체류시간이 다른 암반 지하수들에 비해 길어서, 핵실험시기인 1950년대 이전에 충전된 물임을 지시한다. 이처럼 낮은 삼중수소함량을 보이는 암반지하수 중 BH-9는 자본정으로 지표에서 피압현상을 확인할 수 있었으며, 이는 심부로 순환하면서 매우 긴 유동경로를 갖는 지하수가 용출되는 것으로 사료된다. 이 착정공은 다른 지하수에 비해 산소 및 수소 동위원소 조성도 낮은 값을 보이며, 국내 강수의 동위원소고도효과를 적용하면 BH-9 지하수는 약 500m 더 높은 곳에서 충전된 것으로 판단된다. 연구지역내 대부분 착정공들의 모암은 퇴적암이며 BH-9 착정공을 제외하고는 조사공의 삼중수소함량이 모두 높은 값을 보인다. 반면에 중성화산암이 모암인 BH-1과 BH-12 착정공은 낮은 삼중수소함량을 보인다. 따라서 이러한 동위원소값에서의 차이는 모암에 따른 지하수체계가 차이가 남을 지시하는 것으로서, 지하수의 주요 유동경로는 모암의 단열특성에 의해 지배되기 때문에 동일한 심도조건이라도 연구지역에서는 화산암지역이 퇴적암지역에 비해 지하수의 유동속도가 상대적으로 느린 것으로 판단된다.

영천 지역 지하수 및 지표수 시료들에 대하여 동위원소 고도효과 혹은 지하수 체류시간에 따른 동위원소 조성변화를 알아보기 위하여 삼중수소함량에 대해 산소동위원소와 TDS의 변화를 도시해 보았다 (Figs. 2 and 3). 지하수의 상대적인 체류시간을 반영하는 삼중수소 함량과 일반적으로 충전지역의 고도에 관한 정보를 나타내 주는 산소동위원소 조성을 살펴보면 삼중수소 함량이 적어질수록, 즉 체류시간이 길수록 산소 동위원소조성이 낮아지는 경향을 보이고 있다 (Fig. 2). 또한 삼중수소와 물-암석반응의 정도를 나타내는 총용존고체 함량 (TDS)간의 상관관계는 삼중수소함량이 낮아질수록 TDS값이 증가하는 경향을 보여준다 (Fig. 3). 일반적으로 강수기원의 지하수가 천부지하수에서 심부지하수로 진화되어 간다면 지하수의 충전지역이 높을수록 산소 동위원소조성이 낮아지고 또한 지하수가 오랜 시간에 걸쳐 지하심부로 순환하면서 지하수의 삼중수소 함량은 낮아지며, 상대적인 체류시간이 길어짐으로 인해 물-암석반응이 활발히 일어나게 되어 지하수내 총용존이온함량 (TDS)은 증가되게 된다. 따라서 영천 지역 지하수들의 동위원소 특성은 일반적인 지하수의 진화경로를 반영하고 있는 경향을 잘 보여주고 있다. 그러나 충적층 지하수, 암반지하수, 지표수 등이 동위원소적으로 명확히 구별되지 않으며 특히 암반지하수의 심도별 변화양상이 명확하지 않기 때문에 좀더 장기적인 모니터링을 통하여, 이들간의 혼합양상 및 주변 지형을 충분히 고려한 동위원소 고도효과 등이 보다 정량적으로 밝혀져야 영천지역 지하수의 진화과정 해석이 명확해 질 것으로 보인다.