

강우 현상이 석회암 지역 용천수의 수리화학 및 동위원소 특성에 미치는 영향

김동일¹⁾, 윤성택²⁾, 소철섭³⁾

1. 서론

석회암 또는 카르스트 지역에서의 지하수 유동은 크게 확산형 유동(diffuse flow) 형태와 도수로형 유동(conduit flow) 형태로 나눌 수 있다. 확산형 유동의 경우 지하수는 토양 내 공극을 채우면서 느리게 이동하는 반면, 도수로형 유동에서는 공동이나 과쇄대를 따라 빠른 속도로 유동하는 것이 특징이다. 특히, 지하의 용해 동굴을 따른 빠른 유동은 도수로형 유동의 전형적인 예로서 석회암 지역 지하수의 오염 취약성이 높은 중요 요인이다.

본 연구에서는 고생대 석회암이 분포하는 전형적인 카르스트 지역인 강원도 영월군 일대의 용천수(spring)에 대하여 수리지구화학 및 안정동위원소 연구를 수행하였다. 특히, 이러한 특성 자료를 강우 사건(storm event)과 관련하여 경시적으로 고찰함으로써, 연구 지역의 지하수 유동 특성을 보다 명확히 규명하고자 한다.

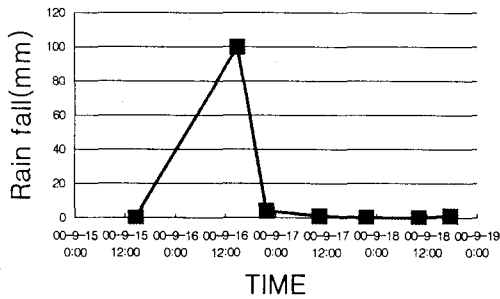
2. 연구 방법

본 연구진은 1997년 5월과 7월에 걸쳐 연구 지역 용천수의 수리지구화학적 연구를 수행함으로써 용천수의 유동 양상을 도수로형 유동의 것과 확산형 유동의 것으로 구분한 바 있다. 본 연구에서는 그 결과를 토대로 도수로형 유동의 특징을 보였던 3곳의 용천수(S-41, S-45, S-46)와 확산형 유동의 특성이 강했던 1곳의 용천수(Y-39)를 대표적으로 선정하여, 2000년 9월의 대규모 여름 강우(태풍 '사오마이' 관련) 기간 중 5일간에 걸쳐 매일 2~3회의 주기로 중점 모니터링을 수행하였다. 모니터링 항목은 강우량 및 용천 유출량 변화와 수리지구화학 및 동위원소 특성의 경시적 변화였다. 현장에서는 pH, Eh, EC, 온도, 알칼리도, 유량, 탁도를 측정하였으며, 필터링 잔존물을 취득하여 실내에서 XRD 분석을 수행하였다. 또한, ICP-AES, IC, 가스동위원소질량분석기를 이용하여 용존 양이온 및 음이온과 산소, 수소, 탄소 동위원소비를 분석하였다.

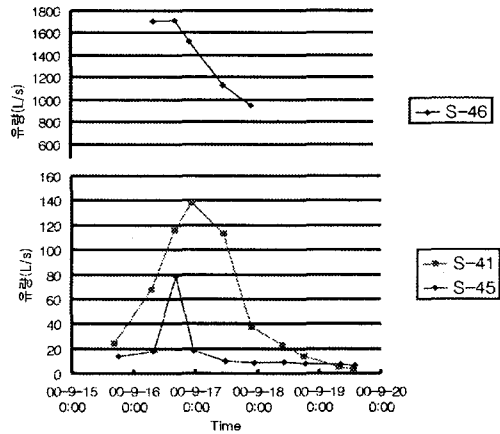
3. 결과 및 토의

조사기간 중 연구지역의 강우량 측정 결과는 그림 1에 도시하였다. 한편, 위에서 언급한 측정/분석 자료 중 강우량 변화에 따른 경시적 변화를 잘 보여준 것은 용천 유출량(discharge) 및 탁도였다

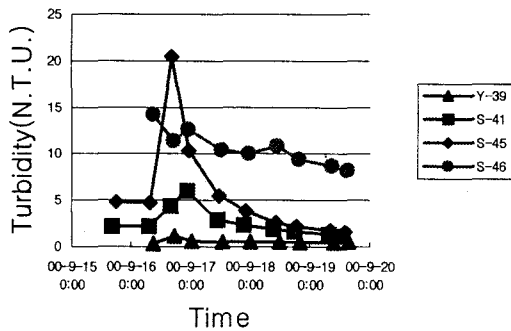
(그림 2, 3). 특히, 도수로형 유동의 특징을 갖는 것으로 판단되는 용천(S-41, S-45, S-46)의 경우에 유출량 및 탁도는 강우량의 변화에 직접적이고도 빠른 반응을 보여주었다. 이들 도수로형 유동의 용천수에서는 황색 부유물이 필터링 잔류물로 남았으나, XRD 분석을 통한 광물 동정은 불가능하였다. 반면, 확산형 유동 특성을 갖는 것으로 판단된 용천(Y-39)의 경우에는 용천 유출량이 적을 뿐 아니라 강우와 관련한 유출량 변화도 거의 없었으며, 탁도는 낮고 그 변화도 없었다(그림 3). 따라서, 유출량 및 탁도는 지하 대수층 내에서 확산형과 도수로형 유동을 구분 짓는 유용한 변수로 판단된다.



<그림1> 조사기간 중 강우량 변화



<그림2> 용천수의 유출량 변화



<그림 3> 용천수의 탁도의 경시적 변화

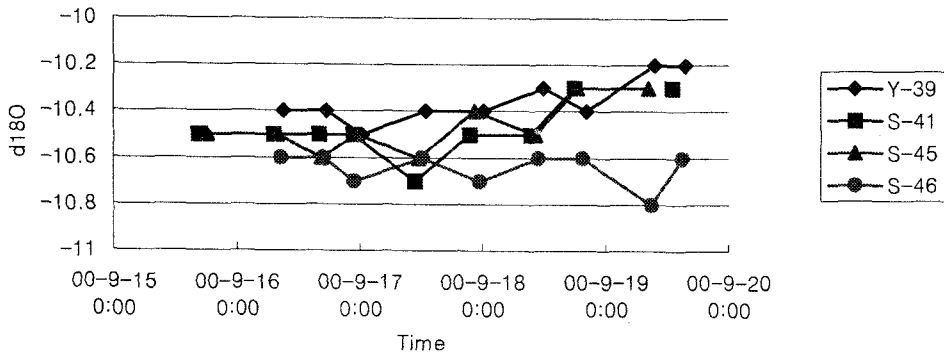
한편, 화학 변수들은 전반적으로 두 유형의 용천수를 뚜렷이 구분하기에는 적합하지 않았으나, 연구 대상 용천수 모두 강우 현상과 관련하여 주요 용존 이온종의 함량에 있어 큰 변화를 보여주었다(표 1) 이는 연구 지역 지하수계가 지표 조건과 밀접히 연관되어 있음을 지시한다.

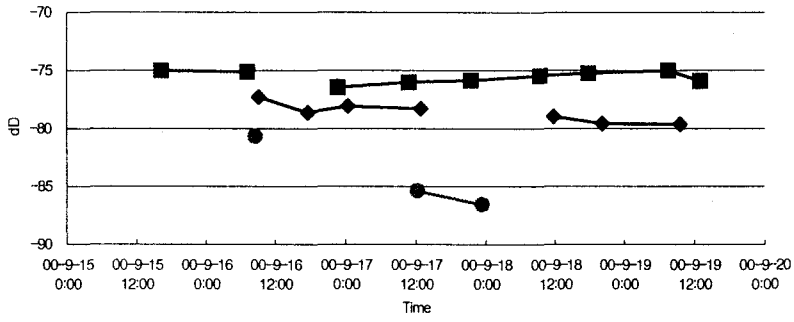
아울러, 강우시간 경과별 용천수의 산소 및 수소동위원소 조성의 경시적 변화를 고찰하면(그림 4), 도수로형 유동의 용천수(예: S-41)에 있어 특히 수소동위원소 조성의 유의한 변화(강우 사건 중 감소하는 경향)를 나타내었다.

본 연구진은 유형별 용천수의 충전 및 배출 특성을 보다 정확히 밝혀내기 위한 추가 연구를 진행 중에 있다.

<표 1> 강우 기간 중 용천수 내 주요 용존 이온종의 함량(mg/l) 변화

		Ca	K	Mg	Na	HCO3	Cl	NO3	SO4
Y-39	min	27.37	0.11	2.10	0.61	61.61	1.78	10.83	6.27
	max	71.86	0.28	5.14	1.49	195.81	4.61	40.78	12.11
	average	40.46	0.18	3.16	0.96	107.29	3.32	26.52	9.34
	STD.	13.43	0.05	0.99	0.29	37.24	1.03	10.98	2.24
S-41	min	31.65	0.29	10.49	0.74	147.01	1.16	7.40	10.20
	max	48.78	0.52	15.93	1.18	208.01	3.98	24.92	26.56
	average	43.02	0.39	14.03	0.98	181.32	2.70	15.89	17.67
	STD.	5.57	0.07	1.74	0.16	23.26	0.79	5.10	4.57
S-45	min	34.73	0.14	14.75	0.63	189.71	0.85	1.53	2.02
	max	71.01	0.31	27.30	1.10	346.07	3.18	46.81	6.66
	average	50.06	0.21	20.57	0.88	255.89	1.59	11.39	4.98
	STD.	13.55	0.06	4.83	0.18	66.40	0.70	14.51	1.57
S-46	min	24.86	0.21	8.15	0.47	116.51	1.50	6.04	3.58
	max	45.89	0.64	15.02	1.37	208.86	3.25	21.44	9.19
	average	35.01	0.40	11.42	0.96	158.33	2.01	11.02	5.49
	STD.	8.45	0.16	2.62	0.33	37.62	0.57	4.83	1.55





<그림 4> 강우 시간의 경과에 따른 용천수의 산소 및 수소 동위원소 조성 변화

1) 고려대학교 지구환경과학과