

독도 서도 물골 지하수의 유출특성

조병욱^{1*} · 윤욱¹ · 이병대¹ · 송원경¹ · 황재홍² · 추창오³

¹한국지질자원연구원 지구환경연구본부, ²한국지질자원연구원 국토지질연구본부, ³안동대학교 지구환경과학과

Discharge characteristics of the Seodo Mulgol Spring, Dokdo

Byong-Wook Cho^{1*}, Uk Yun¹, Byeong-Dae Lee¹, Won-Kyong Song¹, Jae-Hong Hwang²,
and Chang-Oh Choo³

¹Groundwater Department, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

²Geological Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

³Department of Earth and Environmental Sciences, Andong National University

독도에서 지하수가 유일하게 산출되는 서도 물골 지하수의 유출 특성을 파악하기 위하여 지하수 충전 기구 해석, 5회의 유출량과 전기전도도(EC)를 측정하였다. 물골 지하수는 물골 상류에 내린 강수가 조면안산암와 조면암에 발달한 냉각절리를 따라서 하류로 이동하다가 물골의 동굴에 이르러 유출되는 것으로 해석된다. 물골 지하수의 유출량은 1.12~7.02 m³/d이고 EC는 2,650~3,390 μ S/cm로 변화가 적은편이나 강수량이 많으면 일시적으로 EC가 상승한다. 이와 같은 물골 지하수의 유출량과 EC의 변화는 물골 상류 지하수 충전 지역과 물골과의 거리가 짧으며 조면안산암와 조면암에 발달한 주상절리를 통한 물골로의 지하수 흐름이 빠르기 때문으로 판단되나 물골 지하수의 유출량 변화 파악을 위해서는 추가 유출량조사와 함께 정확한 강수자료가 요구된다.

주요어 : 물골, 조면암, 조면안산암, 유출량, 전기전도도

The discharge characteristics of the Seodo Mulgol Spring-the only groundwater-producing area in Dokdo-were evaluated by measurements of discharge rate and electrical conductivity (EC) on five occasions. The Seodo Mulgol Spring is fed by rainfall in upstream areas of the Mulgol cave, and the rainwater of the area moves down along cooling joints developed in trachyandesite II and trachyte, finally discharging at the Mulgol cave. The discharge rate of the Seodo Mulgol Spring varied from 1.12 to 7.02 m³/d during the study period and EC varied from 2,650 to 3,390 μ S/cm, showing a sharp increase during heavy rainfall. The observed variations in discharge rate and EC at the Seodo Mulgol Spring are attributed to the relatively short distance between the recharge area and the Mulgol cave, and to the rapid movement of groundwater through columnar joints developed in trachyandesite II and trachyte. Additional discharge measurements, combined with precise rainfall data, are required at Dokdo to elucidate the discharge characteristics of the Seodo Mulgol Spring.

Key words : Mulgol, Trachyte, Trachyandesite, Discharge rate, Electrical conductivity

서 론

독도는 울릉도로부터 남동쪽으로 87.4 km 떨어진 우리나라 최동단에 위치한 화산섬으로서 2개의 큰 섬과 89개의 부속도서로 이루어져 있다. 2개 큰 섬의 면적은 동도는 73,297 m², 서도는 88,740 m²에 불과하고 지형경

사가 급하여 지하수 자원이 빈약하며, 육지로부터 멀리 떨어져 있어서 현장조사를 위한 접근이 용이하지 않다. 이와 같은 불리한 측면에도 불구하고 독도가 지니고 있는 여러 잠재적 가치 때문에 지하수 자원에 대한 관심은 커지고 있다. 독도 서도에 위치한 물골은 조면암내 발달한 교차 절리로 인해 생성된 자그마한 동굴로서 동도와 서

*Corresponding author: cbw@kigam.re.kr

도를 합쳐서 유일하게 지하수가 산출되는 지점이다. 이 물골 지하수에 대해서는 비상시 음용수로서의 기능여부와 정확한 산출량에 대해서 많은 관심이 있어 왔다.

물골에서의 지하수 산출은 물골 상류에 내린 강수가 절리 등을 통하여 지하로 흐르다가 물골의 동굴에 이르러서는 더 이상 흐르지 못하고 대기로 노출된 것이다. 따라서 물골에서의 지하수 유출은 지표에 내린 강수가 터널내 지하수로 유출되는 기구와 유사한 것으로 볼 수 있다. 지하로 침투한 강수가 터널내 지하수로 유출되는 기구를 설명하기 위하여 강수량, 유출량 뿐만 아니라 지하수의 수질도 함께 연구한 사례가 있다(Shimojima et al., 2000). 터널내 지하수 유출량을 해석하기 위한 국내 조사는 영천지역 도수로터널에서 강수량, 터널내 유출량, 지하수의 전기전도도(Electrical conductivity; EC)와의 관계 조사 등이 있다(한국자원연구소, 1998). 독도 일대에서 지하수 관련 최초 연구로는 농어촌진흥공사에 의한 독도의 지하수부존 가능성과 개발방향(이기철과 전병칠, 1997)이 있다. 이 조사는 강수량, 지질과 지질구조 조사를 통한 동도와 서도의 지하수 부존량 평가, 지하수 함량증대 방안, 지하수개발 방안이 주요 연구내용이다. 그러나 물골의 유출량에 대한 직접적인 측정이 이루어지지 않았으며, 인위적인 시설설치를 통한 지하수함량 증대, 시추에 의한 지하수 개발이라는 문제점을 가지고 있다. 물골 지하수의 유출량에 대해서는 인터넷상의 독도관련 홈페이지에 일부 언급되어 있다. 예를 들면 물골에서는 1일

800리터의 물이 솟아 나온다(사이버독도, 2011), 물골의 지하수 유출량은 0.5 m³/d에서 1.0 m³/d로 추정 또는 하루 평균 1,000리터의 자연 지표수가 흐르고 있다(울릉군지편찬위원회, 2007) 등의 추정된 유출량 자료가 있으나 물골 지하수의 유출 기구와 정확한 유출량에 대해서는 아직 알려져 있지 않다.

본 연구에서는 물골 일대의 지질과 지질구조에 의한 물골로의 강수 충전기구 해석, 5회의 수위회복시험에 의한 유출량 측정, 강수량과 물골 지하수의 유출량과 수질 변화를 통한 물골 지하수의 유출 특성 파악을 시도하였다.

수문지질

지하수의 기원은 대부분 강수이기 때문에 강수량의 많고 적음과 강우빈도는 지하수 자원을 규제하는 중요한 요소 중의 하나이다. 독도의 연평균 강수량(1973년부터 1992년까지)은 약 1,240 mm로 알려져 있으나(이기철과 전병칠, 1997), 독도에서의 최초의 과학적인 기상관측은 1999년에 시작되었다는 점을 고려하면 1973년부터 1992년까지의 독도의 강수량자료는 신뢰도가 떨어진다. 즉 1999년 이후에도 현장 사정이나 기기적인 결함시 접근이 용이하지 않은 점 등으로 인하여 일정기간 강수량 자료가 없는 경우가 있기 때문이다. 1999년부터 2009년까지의 독도의 기상자료 중에서 일부 자료의 누락이 있는 2000, 2003, 2004, 2009년 자료를 제외한 최근 7년간의 월평균 강수량

Table 1. Monthly rainfall at Dokdo and Ulleung Island for a 7-year period (mm).

	1999	2001	2002	2005	2006	2007	2008	Mean	Ulleungdo (2000~2009)
1	9.5	15.5	41.5	50.5	18.0	39.0	79.0	36.1	117.0
2	27.0	36.0	0.5	20.0	50.5	17.5	38.5	27.1	72.8
3	73.0	29.0	34.5	62.0	23.5	49.5	24.0	42.2	80.6
4	68.8	2.0	38.5	30.5	46.0	10.0	36.0	33.1	109.0
5	55.5	64.0	57.5	14.5	92.0	54.5	37.0	53.6	137.2
6	34.0	71.5	26.5	58.0	22.0	67.5	80.5	51.4	133.6
7	14.5	30.0	68.5	80.5	239.5	35.0	52.0	74.3	227.8
8	70.5	62.5	304.8	32.5	100.5	73.5	104.0	106.9	200.3
9	121.5	66.0	30.0	71.0	50.5	228.5	18.0	83.6	200.0
10	52.0	41.5	28.5	60.0	18.5	65.0	14.5	40.0	80.0
11	41.5	45.0	25.0	21.5	62.5	44.5	36.5	39.5	127.5
12	43.0	35.5	82.5	41.5	49.0	57.0	64.0	53.2	134.2
Total	610.8	498.5	738.3	542.5	772.5	741.5	584.0	641.2	1619.7

과 울릉도의 연평균 강수량(2000-2009)은 Table 1과 같다. 최근 7년간 독도의 연평균 강수량은 641.2 mm이다. 1년 중 7, 8, 9월 3개월에 전체의 41.3%인 264.8 mm가 내리며 강수량이 가장 많은 시기는 8월로서 평균 106.9 mm이고 가장 적은 시기는 2월의 27.1 mm로서 내륙지방에 비해서 월별 강수량의 편차가 적은 편이다. 독도의 연평균 강수량은 울릉도의 연평균 강수량 1,619.7 mm의 39.6%로서 절반에도 미치지 못하고 있다. 독도와 울릉도의 거리가 불과 87.4 km 임을 고려할 때 독도와 울릉도와의 강수량에는 큰 차이가 있어 독도 기상자료를 이용시 신중할 필요가 있다.

물골이 위치한 서도 최고봉의 높이는 168.5 m로서 지형경사가 급하여 토양층의 분포는 거의 없거나 있더라도 층후가 얇다. 그러나 물골 상류의 조면안산암에 발달한 계곡에는 두께 20 cm 내외의 토양층이 분포하고 있으며 식물이 자라고 있다(국토해양부, 2009). 이 토양층의 함수비는 16.0-40.9%의 범위의 비교적 높은 함수비를 나타내는 입도가 불량한 모래 혹은 톱질 모래로 구성되어 있으며(국토해양부, 2010), 강수의 직접 유출을 방지하는 역할을 하기 때문에 물골 지하수의 유출량에 중요한 요인으로 판단된다. 독도는 제3기 플라이오세에 발생한 화산활동의 산물로서 알카리 화산암류로 구성된 화산섬으로 알려져 있다(김윤규 외, 1987; Sohn and Park, 1994). 이들 화산암류는 허부로부터 괴상 응회각력암, 조면안산암, 층상 라필리응회암, 층상 회질응회암, 조면안산암, 스크리

아성 층상 라필리응회암, 조면안산암, 각력암, 조면암 등 총 9개 화산암층 단위로 구성되어 있다(Fig. 1).

지하수의 산출 특성

강수의 물골로의 충전

물골 일대의 지질은 조면안산암을 부정합으로 덮으며 넓게 분포하는 층상 라필리응회암이 있다. 이 층은 층리가 잘 발달된 응회각력암과 라필리응회암의 호층으로 구성된다. 흔히 역질의 층리를 보이고 판상의 퇴적층을 형성하며 층리의 방향성은 북북서방향의 주향과 남서쪽으로 30° 내외의 경사를 이룬다. 조면안산암은 이 층상 라필리응회암 상위에 용류하며 분포한다. 이 암체의 최하부에는 수 m 두께의 각력대가 존재하며, 상부에는 주상절리가 잘 발달되어 있다. 조면암은 물골 주변에 소규모의 암주상으로 산출되며 관입 경계면에 직각방향으로 주상절리 또는 판상절리가 규칙적으로 발달하고 있다(국토해양부, 2009). 지하수 유동 측면으로 보면 물골 상류의 조면안산암과 물골이 속한 조면암에 발달되어 있는 절리를 통한 지하수의 이동이 용이하다. 그러나 라필리응회암에는 절리의 발달이 없고 암석 자체의 투수성이 낮기 때문에 불투수층의 역할을 한다(Fig. 2).

물골 상류에 내린 강수가 물골까지 이동하는 과정은 다음과 같이 설명될 수 있다. 물골 상류의 조면안산암에 내린 강수는 토양층의 두께가 비교적 두꺼운 계곡과 조면

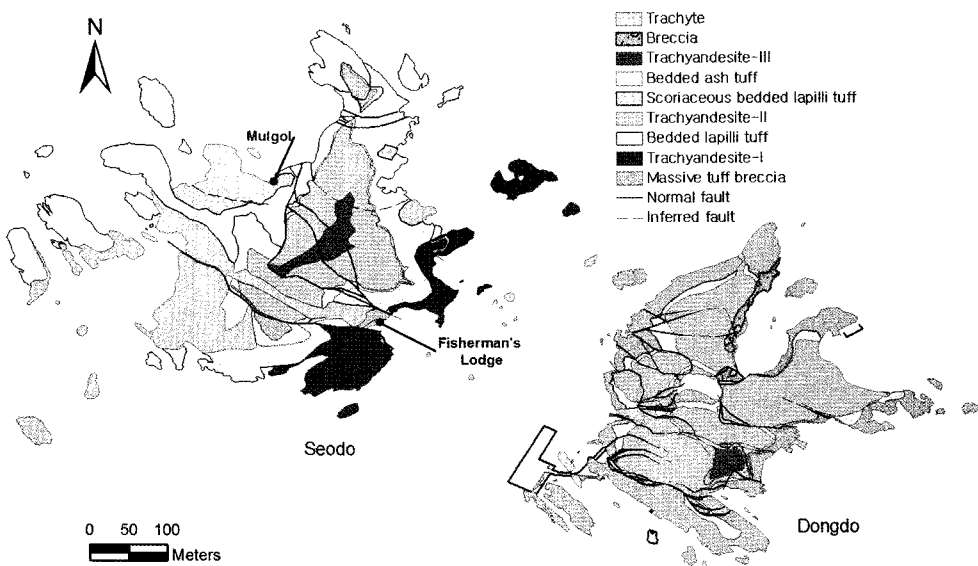


Fig. 1. Geological map of the study area, showing the location of the Mulgol cave.



Fig. 2. Rainfall infiltration within bedded lapilli tuff at Fisherman's Lodge. Rainfall is unable to infiltrate the tuff because it acts as an impermeable layer.

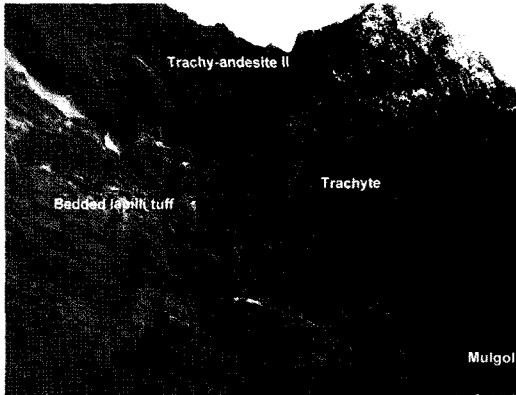


Fig. 3. Schematic illustration of the infiltration and movement of rainfall at the Mulgol cave. Rainfall moves through cooling joints developed in trachyandesite and trachyte, eventually discharging at the Mulgol cave.

안산암에 발달한 절리를 따라서 하류로 이동하다가 라필리용회암에 도달하면 더 이상 하류로 이동하지 못하고 라필리용회암과 조면안산암의 경계를 따라서 물골쪽으로 이동할 것이다. 물론 물골의 직상부 조면암지역도 물골의 지하수 충전지역으로 생각할 수 있으나 물골의 유출량, 직상부의 면적과 지형경사를 고려하면 물골의 충전지역으로 보기에 는 무리가 있다. 라필리용회암과 조면안산암의 경계를 따라 흐르는 지하수는 조면암에 이르러서는 조면암에 발달한 절리를 따라서 하류로 이동하다가 물골의 동굴에서는 열린 공간을 만나서 더 이상 하류로 이동하지 못하고 지하수로 유출되는 것으로 해석된다(Fig. 3).

강수와 물골 지하수의 유출량

물골은 서도 북쪽의 조면암지역에 위치하며 N50°W,

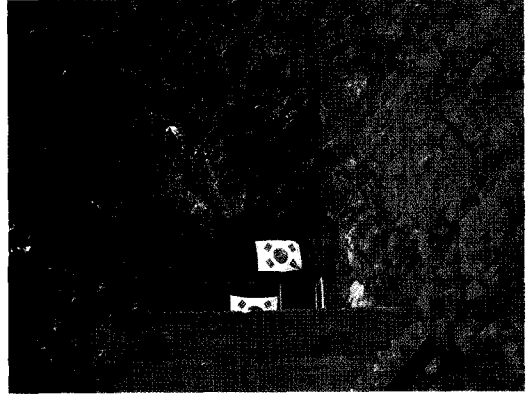


Fig. 4. Two sets of joints (N10°E, 68NW and N50°W, 70NE) developed in the Mulgol trachyte.

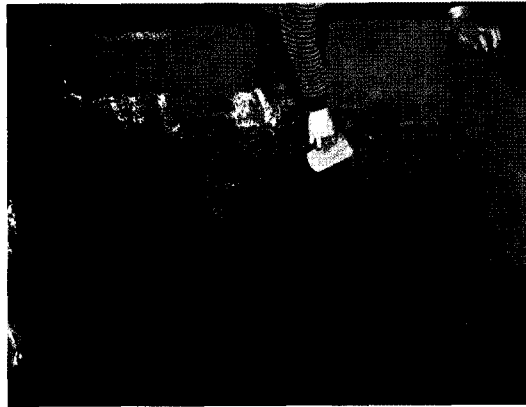


Fig. 5. Water storage (1.2 × 1.4 × 1.68 m) in the Mulgol cave. Recovery tests were performed on five occasions to measure the discharge rate and electrical conductivity.

경사 70°NE인 단층이 있다. 물골은 이 단층이 발달된 지점이 해파에 의해 해식되어 형성된 동굴이다(Fig. 4). 물골에는 가로 1.2 m, 세로 1.4 m, 깊이 1.68 m의 저수조가 있어서 물골 동굴에서 유출된 지하수는 Fig 5에서와 같이 저수조의 벽면을 타고 저수조에 유입된다. 물골의 유출량 산정은 이 저수조에서의 수위회복시험으로 이루어졌다. 시험 방법은 저수조에 고여 있는 일정량의 지하수를 배출시킨 다음 배출시킨 양만큼의 지하수가 다시 충전되는 시간을 측정하여 유출량을 계산하였다.

수위회복 시험은 총 5회 이루어졌는데 1차 회복시험은 2008년 4월 26일이었으며, 회복시험 결과 시간당 0.035 m의 수위회복을 보였는데 이를 지하수 유출량으로 환산하면 1.41 m³/d였다. 수위회복시험을 수행한 4월 26일 이전 독도의 강수량을 보면 4월 22일에 1.5 mm의 강수

Table 2. Discharge rate and electrical conductivity of the Seodo Mulgol Spring water and rainfall.

Date	Flow rate (m ³ /d)	EC (μS/cm)	Rainfalls
4/26/08	1.41	2,910	¹⁾ 1.5 mm (4/22)
6/17/09	1.12	2,650	-
10/5/09	7.02	2,660	¹⁾ 16 mm (10/2-10/3)
8/21/10	3.02	3,030	²⁾ 20 mm (8/13), ²⁾ 3.5 mm (8/17)
10/24/10	4.03	3,390	²⁾ 44 mm (10/8-9) ²⁾ 3.5 mm (10/14), ²⁾ 4.5 mm (10/18)

¹⁾Dokdo Weather Station, ²⁾Ulleung Weather Station

가 기록되었다. 저수조에서의 2차 수위회복시험은 1차와 같은 방법으로 2009년 6월 17일에 실시하였는데 지하수 유출량은 1.12 m³/d였다. 3차, 4차, 5차 유출량 측정도 1, 2차와 마찬가지로 수행하였는데 5회에 걸쳐 측정된 유출량은 최저 1.12 m³/d에서 최고 7.02 m³/d로 나타났다 (Table 2). 최저 유출량인 2009년 6월 17일 이전에는 유출량 측정 15일 전까지 강수가 없었다. 최고 유출량으로 기록된 2009년 10월 5일로부터 2-3일 전에는 16 mm의 강수가 있었다. 한편 2010년 8월 21일(유출량 3.02 m³/d) 4일전에는 3.5 mm, 7일전에는 20 mm의 강수가 있었고, 2010년 10월 24일(유출량 4.03 m³/d) 6일전에는 4.5 mm의 강수가 있었다(Table 2).

5회에 걸친 불골 지하수의 유출량 측정결과 최저는 1.12 m³/d, 최고는 7.02 m³/d를 보여 독도관련 홈페이지에 게재된 유출량 0.8 m³/d(사이버독도, 2011), 0.5~1.0 m³/d(울릉군지 편찬위원회, 2007)에 비해서 많은 것으로 나타났다. 또한 측정시기별 유출량 변화가 큰데 이는 측정일 전에 내린 강수량과 강수 지속기간에 의해 직접적인 영향을 받고 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 이유는 지하수 충전 지역과 불골과의 거리가 300 m 내외로 짧으며 조면안산암과 조면암에 발달한 주상절리를 통한 지하수 흐름이 빠르기 때문으로 판단된다. 불골 지하수의 유출량 변화 특성을 파악하기 위해서는 추가 유출량 조사와 함께 정확한 독도 강수자료가 요구된다.

불골 지하수의 수질변화

불골 지하수의 수질과 수량변화 파악을 위하여 자동 수질기록기(CTD diver)를 불골 지하수의 저수조에 설치하고 2010년 8월 20일부터 10월 24일까지 20분 간격으로 전기전도도(EC)를 기록하였다. 5회의 유출량 측정시에는 EC도 측정되었는데 그 범위는 2,650~3,390 μS/cm였다

(Table 2). 일반적으로 강수량이 적어서 지하수 유출량이 적을 경우 암석내에 머무르는 시간이 길어서 EC 값이 증가하나(Shimajima et al., 2000) 불골 지하수의 유출량과 EC 사이에는 뚜렷한 상관성을 보여주지 않고 있다. 이의 원인으로는 충전지역과 불골과의 거리가 불과 300 m 정도로 짧을뿐더러 조면암과 조면안산암에 발달한 주상절리를 통한 지하수의 이동속도가 빠르기 때문으로 판단된다. 또한 서도는 면적은 88,740 m²에 불과하기 때문에 해무의 영향으로 인해서 빗물의 전기전도도는 44 μS/cm이고 불골 바로 옆의 절리를 통하여 강수시 일시적으로 흐르는 지하수의 전기전도도가 4,440 μS/cm임을 볼 때 불골로 충전되는 지하수의 전기전도도도 해무와 갈매기의 배설물 등에 영향을 받고 있기 때문으로 판단된다(국토해양부, 2009).

Fig. 6은 20분 간격으로 기록된 불골 지하수의 EC 값을 강수량자료와 함께 나타낸 것이다. 2010년 9월 5일 15시의 불골 지하수의 EC는 3,280 μS/cm 정도였으나 9월 5일의 60 mm의 강수량으로 인해서 9월 5일 16시는 3,320 μS/cm, 17시는 3,950 μS/cm, 18시에는 최고치인 4,160 μS/cm로 급격한 상승을 보이다가 이 후부터는 빠르게 낮아져서 19시에는 4,090 μS/cm, 20시는 3,850 μS/cm, 21시는 3,560 μS/cm, 22시는 3,350 μS/cm로 안정을 이룬다. 불골 지하수의 EC 값이 불과 2시간 만에 4,160 μS/cm 까지 상승하였다가 다시 3시간 40분 만에 원래의 값(3,320 μS/cm)으로 되돌아오는 것은, 불골 상류의 조면안산암과 라필리용회암에 내린 강수가 지하로 침투하여 하류로 이동하다가 조면암에 발달한 절리를 통하여 불골로 빠르게 유입되기 때문으로 판단된다. 강수 후 지표수의 EC 변화를 파악하기 위하여 어업민속소 인근에 설치된 자동수질기록기(CTD Diver)에 의하면(Fig. 1) 강수 초기

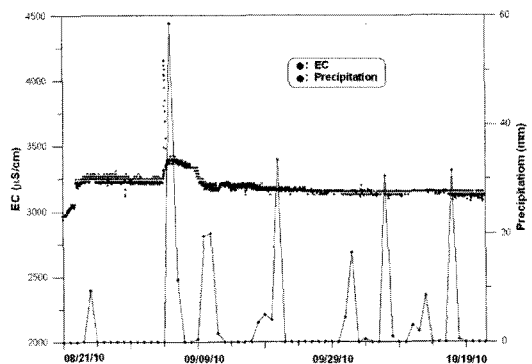


Fig. 6. Time variations in electrical conductivity of the Seodo Mulgol Spring water and rainfall. A sharp increase in electrical conductivity is observed at the beginning of a period of heavy rainfall (60 mm/d) on September 5, 2010.

지표수의 EC는 강수 전 지표에 농집된 해무의 염분, 갈매기 배설물 등에 의하여 일시적으로 63,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 까지도 상승하며 이후 강수가 지속되면 점점 희석되어 EC가 낮아지는 것으로 보고된 바 있다(국토해양부, 2009).

물골 지하수의 유출량이 강수량과 밀접한 관계가 있음에 비하여 수질인 EC의 값은 그 변화가 적은 편이다. 이의 설명으로는 해무에 의해 강수의 EC가 44 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (국토해양부, 2008)로 높으며, 공급지와 물골 사이의 지하수 이동 통로에는 지하수가 이동하면서 농집된 일정량의 염분이 있기 때문으로 해석된다. 만일 강수량이 아주 많으면 강수의 침투 초기에는 EC가 높지만 강수 지속기간이 길어질수록 지하수 이동 통로내의 염분을 희석시켜서 결국 물골 지하수의 EC를 낮출 것으로 해석된다. 9월 5일 60 mm의 강수시 물골 지하수의 EC의 변화로 볼 때 물골 지하수의 유출량과 함께 수질도 강수에 직접 영향을 받고 있는 것으로 판단된다. 그러나 30 mm 내외의 강수시에는 물골 지하수의 EC 값에 변화가 없음을 보여서(Fig. 6) 이에 대해서는 추가 연구가 필요하다.

결 론

독도에서 유일하게 지하수가 산출되는 물골의 지하수 유출특성을 파악하였다. 강수의 물골 지하수로의 충전기구는 물골 상류에 내린 강수가 계곡과 조면안산암내 절리를 따라서 하류로 흐르다가 라필리용회암과 조면안산암의 경계를 따라서 물골쪽으로 이동하여 조면암에 발달한 절리를 통하여 물골의 동굴에 이르러 유출되는 것으로 해석된다. 5회에 걸친 물골 지하수의 유출량은 최저 1.12 m^3/d 에서 최고 7.02 m^3/d 로 물골 지하수의 유출량은 측정일 전에 내린 강수량과 지속기간에 직접적인 영향을 받는 것으로 나타났다. 유출량 측정시의 EC는 2,650~3,390 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 변화가 적은편이나 강수량이 많으면 일시적으로 EC가 상승하다가 감소한다. 이와 같은 물골 지하수의 유출량과 EC의 변화는 물골 상류 지하수 충전 지역과 물골과의 거리가 짧으며 조면안산암과 조면암에 발달한 절리를 통한 물골로의 지하수 흐름이 빠르기 때문에 판단된다. 물골 지하수의 정확한 유출량 변화 파악을 위해서는 추가 조사와 함께 정확한 독도 강수자료가 요구된다.

사 사

이 연구는 국토해양부의 수탁과제인 “2010년 독도 지반환경 모니터링”의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 국토해양부, 2008, 독도 서도 지반안정성 정밀조사 및 독도 지반안정 DB 구축 용역, 446p.
 국토해양부, 2009, 독도 지반환경 모니터링 용역, 175p.
 국토해양부, 2010, 독도 지반환경 모니터링, 155p.
 김윤규, 이대성, 이경호, 1987, 독도 화산암의 분별결정 작용, 대한지질학회, 23, 67-82.
 사이버독도, 2011, <http://www.dokdo.go.kr>.
 울릉군지 편찬위원회, 2007, 울릉군지, 1390p.
 이기철과 전병철, 1997, 독도의 지하수부존 가능성과 개발방향, 농어촌진흥공사보고서, 29-42.
 한국자원연구소, 1998, 영천매 도수터널 공사지역 지하수유동 조사, 한국자원연구소 보고서, 419p.
 Shimojima, E., Tanaka, T., Hoso, Y., Yoshioka, G. B., and Davis, G. B. 2000, Using Short- and long-term transients in seepage discharge and chemistry in a mountain tunnel to quantify fracture and matrix water fluxes. Jour. of Hydrology, 234, 142-161.
 Sohn, Y. K. and Park, K. H. 1994, Geology and evolution of Tok Island, Korea. Jour. of Geol. Soc. Korea, 30, 242-261.

2011년 4월 29일 원고접수, 2011년 6월 13일 게재승인

조병욱

한국지질자원연구원 지하수연구실
 305-350 대전광역시 유성구 과학로 92
 Tel: 042-868-3083
 E-mail: cbw@kigam.re.kr

윤옥

한국지질자원연구원 지하수연구실
 305-350 대전광역시 유성구 과학로 92
 Tel: 042-868-3118
 E-mail: ukyun@kigam.re.kr

이병대

한국지질자원연구원 지하수연구실
 305-350 대전광역시 유성구 과학로 92
 Tel: 042-868-3088
 E-mail: bdlee@kigam.re.kr

송원경

한국지질자원연구원 지하공간환경연구실
 305-350 대전광역시 유성구 과학로 92
 Tel: 042-868-3247
 E-mail: songwk@kigam.re.kr

황재홍

한국지질자원연구원 국토지질연구본부
305-350 대전광역시 유성구 과학로 92
Tel: 042 868-3058
E-mail: hwangjh@kigam.re.kr

추창오

안동대학교 지구환경과학과
760-749 경북 안동시 경동로 1375
Tel: 054-820-5753
E-mail: mineralogy@paran.com