Short Note

Hydrological Characteristics of the Underground Discharge at Moolgol in Dokdo, Korea

Nam C. Woo^{1,*}, Dong Y. Lee¹, Jong H. Park¹, Yoon B. Kim², Min S. Woo², Chan H. Park³

¹Department of Earth System Sciences, Yonsei University, Seoul, Korea 03722

²Ulleungdo-Dokdo Ocean Research Station, Korea Institute of Ocean Science and Technology (KIOST), Ulsan, Korea 36315

³Dokdo Research Center, Korea Institute of Ocean Science and Technology (KIOST), Ulsan, Korea 36315

*Corresponding author : ncwoo@yonsei.ac.kr

ARTICLE INFORMATION

Manuscript received 21 February 2022
Received in revised form 24 February 2022
Manuscript accepted 24 February 2022
Available online 28 February 2022

DOI : <http://dx.doi.org/10.9719/EEG.2022.55.1.45>

Research Highlights

- The amount of underground discharge at Moolgol in Seodo was estimated at least 1.1 m³/d.
- The stable isotope ratios of water imply that precipitation quickly moves to the Moolgol through bedrock joints.
- Water quality appears unsuitable for drinking and domestic purposes in the levels of Cl and NO₃.

ABSTRACT

Whether Dokdo can sustain human habitation or economic life of their own plays an important role to the legal status of the island in the international maritime law. This study reports the hydrological survey results regarding the water resource of the island occurred at Moolgol in Seodo. The amount of underground discharge at Moolgol was estimated at least 1.1 m³/d, conforming the results of previous studies. Based on the oxygen and hydrogen isotope ratios of water, the discharge appeared to originate from precipitation, and about 36% of the daily precipitation moves fast to the Moolgol through the joints developed in the volcanic bedrocks. Quality of the discharged water shows relatively higher concentrations in Cl and NO₃ to be used for drinking and domestic purposes, probably affected by the sea spray and waves from surrounding sea and the birds' excretion such as black-tailed gulls.

Keywords: Moolgol, Dokdo, underground discharge, water stable isotope, discharge rate, water quality

Citation: Woo, N.C., Lee, D.Y., Park, J.H., Kim, Y.B., Woo, M.S., Park, C.H. (2022) Hydrological Characteristics of the Underground Discharge at Moolgol in Dokdo, Korea. *Korea Economic and Environmental Geology*, v.55, p.45-51, doi:10.9719/EEG2022.55.1.45.

단보

독도 물골 지하유출수의 수문학적 특성

우남칠^{1,*} · 이동엽¹ · 박종훈¹ · 김윤배² · 우민수² · 박찬홍³

¹연세대학교 지구시스템학과

²한국해양과학기술원 동해연구소

³한국해양과학기술원 독도전문연구센터

*책임저자 : ncwoo@yonsei.ac.kr

요 약

독도에서의 “인간의 거주 혹은 독자적인 경제활동을 영위할 수 있는가의 여부”는 국제법 상으로 독도의 지위를 결정하는 중요한 요소로 작용한다. 이러한 관점에서 독도의 활용가능한 물(water resource)에 대하여, 독도에서 유일하게 지하수 유출이 발생하고 있는 서도의 물골을 대상으로 조사한 수문학적 결과를 보고한다. 이 조사에서 평가한 물골의 지하수 유출량은 최소 1.1 m³/d로 나타났으며, 이는 기존의 연구들에서 제시한 결과와 통계적으로 유사하다. 물의 산소-수소 안정동위원소비를 통한 기원 분석에서 지하유출수의 기원은 강수로 판단되며, 일강수량을 기준으로 할 때, 강수의 약 36% 정도는 화산암 내의 절리를 통해 빠르게 지하수로 유출된다. 지하유출수의 수질은 생활용수와 음용수로 사용하기에는 높은 염도와 질산염 농도를 보이며, 이들은 해무와 파도 등에 의한 염분과 갯이 갈매기 등 조류 배설물로부터 기인된 것으로 판단된다.

주요어 : 물골, 독도, 지하유출수, 물 안정동위원소, 유출량, 수질

1. 조사 배경

독도는 행정구역상으로 경상북도 울릉군에 소속된 섬으로, 울릉도로부터 남동쪽으로 87.4 km 떨어져 있으며, 동도와 서도 및 89개의 부속 암초로 되어 있고, 총 면적은 187,554 m² 이다. 인공시설물로는 독도의 동도에 등대와 독도경비대 관련 시설이 설치되어 있으며, 서도에는 어민 숙소와 그 뒤편(북서쪽) 사면 하단부에 물골 취수시설이 설치되어 있다 (Fig. 1). 서도 북서쪽 연안에 위치하는 물골은, 조면암 내 발달된 교차 절리로 인해 생성된 동굴로서, 해안가에서 동굴의 입구까지는 약 12 m, 동굴 입구로부터 내부 벽까지의 거리는 약 14 m 정도이고, 동굴에 물이 고인다고 해서 붙여진 이름이 “물골”이며, 동도와 서도를 합쳐서 유일하게 지하수가 산출되는 곳이다 (Kim *et al.*, 2021; Cho *et al.*, 2011).

주민 숙소가 설치되어 있는 서도에서는, 1966년 이래 식수와 생활용수 공급을 위하여 물골에 취수조, 저수시설, 옹벽 등을 설치하여 주민의 주거환경을 확보하고자 하였다. 이와 같은 물골의 수원확보를 위한 시설공사는 1996년, 1982년, 2007년, 2018년 등 총 4회 시행되어 현재와 같은 모습을 지니게 되었다 (Fig. 2).

물골 내부에서 지하유출수를 취수-저장-배수하는 체계는 다음과 같다: 취수조의 규모는 가로×세로×높이가

1.2 m × 1.5 m × 1.0 m 이며, 지하유출수가 취수조로 유입되는 부분은 상부면으로부터 약 20 cm 하부(바닥면)로부터 높이는 약 80 cm)에 뚫려 있다. 취수조의 바닥면으로부터 약 70 cm 상부에 물탱크로 연결되는 배수관로가 위치하며, 물탱크에는 저장된 지하수를 옹벽 외부로 배출하기 위한 관로가 설치되어 있다.

현재는 물골의 수질이 갈매기 배설물과 사체 등의 원인으로 수질이 악화되어 먹는 물과 생활용수 기준에 부

Fig. 1. Location and the areal view of Seodo and the Moolgol in July, 2021.

Fig. 2. Planar view of the water collecting system and the internal view of the Moolgol in July, 2021.

적합한 상태이며, 이에 대해 수질 복원과 체계적인 관리의 필요성이 지속적으로 제기되어 왔다 (Park and Park, 2020). 따라서 이 조사는 물골 취수조로 유입되는 지하유출수의 수질과 수량 및 함양원으로 예상되는 강우와의 관계를 과학적으로 이해하고, 이를 근거로 물골의 활용 가능성과 방안을 도출하고자 수행하였다.

2. 서도의 수리지질 환경에 대한 기존 연구

독도 지질조사보고서(Kee *et al.*, 2012)에 따르면, 독도

는 적어도 약 460만 년 전부터 약 160만 년 전까지 활동했던 해저 화산작용으로 형성되었다. 현재 해수면 위에 분포하는 독도화산암류는 약 30만년이라는 비교적 짧은 기간에 형성되었으며, 용암분출에 의해 형성된 조면안산암과 화산쇄설성 분출에 의해 생성된 응회암층이 교호하며 분포하고, 이들을 관입한 후기 화산암류가 함께 산출되고 있다 (Fig. 3). 독도층군의 화산암체에서는 용암분출에 의해 형성된 조면안산암류와 조면암에서 상대적으로 높은 빈도의 절리를 볼 수 있다. 이들은 대부분 마그마가 식는 과정에서 수축되어 생성된 냉각절리이다. 서

Fig. 3. Geologic Map of the Seodo and the location of Moolgol (Kee *et al.*, 2012).

도의 조면안산암 II는 최대 80 m 두께로 나타나며, 전형적인 수직절리 형태를 보여주며, 이로 인해 소규모 암괴의 붕락이 지속적으로 발생하고 있다. 서도의 물골 전면부에 발달된 해빈자갈퇴적층은 지속적으로 발생하는 기존 암석의 풍화-침식-퇴적 작용에 의해 생성되었다.

독도의 물 환경에 대해서 Cho *et al.*(2011)은 과학적 기상관측이 시작된 1999년부터 2008년까지의 자료를 근거로 할 때, 연평균 641.2 mm의 강수량을 보이며, 이는 울릉도의 1619.7 mm에 비교할 때 약 40% 정도로 보고한 바 있다. 지하수 부존환경에 대해서, Lee and Chun(1996)은 좁은 유역면적과 급경사인 지형 조건으로 독도에서 경제성 있는 지하수 부존을 기대할 수 없으나, 서도의 경우 기반암 내 절리와 단층을 따라 흐르는 소량의 지하수(약 0.5~1.1 m³/d)는 채취가능할 것으로 판단하였다. 또한 지하수량은 대수층의 발달이 빈약하여 저류능력이 부족하므로, 강수에 의한 시간적 변화가 클 것으로 평가하였다.

지하유출수의 양적 평가를 위해서 Cho *et al.*(2011)은 Fig. 2에 보이는 취수조에서 5회의 수위회복 시험을 수행하여 유출량을 1.12 m³/d ~ 7.02 m³/d로 산정하였으며, 강수량과 취수조의 수위변화를 비교분석하여 유출량의 변화가 직전 강수량에 영향을 받는 것으로 평가하였다. 또한 물골로 유입되는 지하유출수의 전기전도도는 평균적으로 약 3.3 mS/cm 이고, (2010년 9월 5일) 약 60 mm의 강수 시에는 EC 값이 불과 2시간 만에 4.16 mS/cm까지 상승하였다가 다시 3시간 40분 만에 배경값인 약 3.3 mS/cm로 회복됨을 보고하였다. 이는 물골 유출수에

강수의 영향이 빠른 시간 내에 반영됨으로 해석하였다. 동시에 일시적인 전기전도도의 급격한 상승은 강수의 지하 함양과정에서 갈매기 배설물 등 지표면 오염물질의 영향으로 설명하였다. 그럼에도 불구하고, 지하유출수의 배경수질 전기전도도가 3.3 mS/cm나 되는 이유와, 더불어 강수량과 지하수질 간의 낮은 상관성에 대해서는 추가적인 조사가 필요함을 제시하였다.

3. 결과 및 토의

3.1. 물골 지하수 유출량 평가

전술한 바와 같이, 물골 지하유출수의 유량은 Lee and Chun(1996)에서 약 0.5~1.1 m³/d로 제시되었고, Cho *et al.*(2011)에서는 강수의 영향에 따라서 변화한다고 설명하였다. 이들이 제시한 유출량 자료를 직전 강수량과의 상관성을 분석하면 다음과 같은 관계가 도출된다 (Table 1):

$$\text{유출량(m}^3\text{/d)} = 0.3639 * (\text{강수량(mm/d)}) + 1.46; r^2 = 0.9345$$

즉, 이 수식은 단순히 통계학적 관계에서 볼 때 강우가 없는 평시의 물골 지하수 유출량은 1.46 m³/d 정도가 됨을 의미한다.

이 연구에서는, 5월 14일 현장 조사에서 새롭게 유입되는 물의 양(유출수량)을 측정하기 위하여 움직임이 없는 취수조의 물을 퍼내자 취수조에 연결되어 있는 물탱크의 물이 역류하는 현상이 발생하여 직접적인 유입량 측정이 불가능하였다 (Fig. 4).

Table 1. Discharge rate measurements at the water reservoir of Moolgol

Exp. date	Discharge rate (m ³ /d)	Previous rainfall (mm) with date	Remarks
2008.04.26	1.41	1.5 (2008.04.22)	Cho <i>et al.</i> , 2011
2009.06.17	1.12	-	Cho <i>et al.</i> , 2012
2009.10.05	7.02	16.0 (2009.10.02~03)	Cho <i>et al.</i> , 2013
2010.08.21	3.02	3.5 (2010.08.17)	Cho <i>et al.</i> , 2014
2010.10.24	4.03	4.5 (2010.10.18)	Cho <i>et al.</i> , 2015
2021.07.13	2.72	8.0 (2021.07.09)	This study
2021.08.20	1.43	3.0 (2021.08.17)	This study

Fig. 4. Vertical section of the Moolgol water-collecting system and the water level on May 14th, 2021.

이후 7월 13일, 물탱크의 저장된 물을 모두 배수한 후, 취수조 수위자동관측을 통해 13~14일에 걸쳐 측정된 지하수 유출량은 2.72 m³/d 로 산정되었으며, 8월 20~21일에 동일한 방식으로 재수행된 시험에서는 1.43 m³/d 평가되었다. 이때 각각의 시험 전에 발생한 강수량은 7월 8~9일에 11.5 mm, 8월 7일에 3.0 mm 였다.

8월 20~21 시험에서 도출된 지하수 유출량은 앞서 제시한 바와 같이 Cho *et al.*(2011)의 자료에서 도출된 강우의 영향이 없는 시기의 유출량 약 1.46 m³/d 과 유사하다. 또한 7월 13-14일의 시험에서 산출된 지하수 유출량은 시험 수행 약 4-5일 전에 내린 강수이므로 이들의 영향이 시간에 따라 감소되어 나타난 결과라고 본다면, 전술한 통계적 관계식의 유의성이 확보된다고 할 수 있다.

3.2. 물골 지하유출수의 기원

물골 지하유출수의 기원을 규명하기 위하여, 독도의 동도에서 2021년 5월(4회), 6월(2회), 7월(2회) 등 총 8회에 걸쳐 발생한 강수시료에 대하여 산소-수소 안정동위원소비를 측정하였으며, 5월과 7월에는 서도 앞의 해수와 물골 취수조의 물 시료를 함께 분석하였다 (Table 2). 안정동위원소비는 연세대학교 지하수연구실의 LWIA(LGR, Inc.)를 사용하였으며, $\delta^{18}\text{O}$ 과 $\delta^2\text{H}$ 의 민감도는 각각 $\pm 0.1\text{‰}$

Table 2. Oxygen and hydrogen stable isotope ratios of precipitations at Dokdo and Moolgol underground discharge with Cl concentrations

Sample #	Date	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$	Cl
		‰		mg/L
Precipitation	2021.05.16	-3.72	-22.6	
	2021.05.18	-5.76	-40.8	
	2021.05.20	-3.65	-26.9	
	2021.05.28	-6.40	-44.4	37.84
	2021.06.03	-5.49	-36.2	
	2021.06.12	-3.90	-20.9	250.77
	2021.07.04	-6.01	-39.7	231.29
	2021.07.06	-7.32	-48.7	
D-1* (-70 cm)	2021.05.14	-5.1	-29.4	7,718
D-2 (-50 cm)	2021.05.14	-6.5	-39.1	5,923
D-3 (-30 cm)	2021.05.14	-7.0	-43.7	789
Seawater 1	2021.05.14	-0.10	1.2	18,734
Seawater 2	2021.05.14	0.00	1.1	18,550
Moolgol**	2021.07.14	-7.25	-43.2	670

* D-1, D-2, D-3 samples were collected at depths below ground surface of -70, -50, -30 cm, respectively, from the Moolgol reservoir that shown a layered water column.

** Moolgol sample indicates that the one was collected from the newly recharged reservoir.

Fig. 5. Oxygen and hydrogen stable isotope ratios of the rainfalls from Dokdo and the water samples from the the Moolgol reservoir: D-1, D-2, D-3 samples were collected at depths below ground surface of -70, -50, -30 cm, respectively, from the Moolgol reservoir that shown a layered water column.

과 $\pm 1\text{‰}$ 이었다.

강우의 산소-수소 동위원소비 자료로부터 도출한 독도 지역의 지역순환수선 (Local Meteoric Water Line; LMWL)의 관계식은 다음과 같다 (Fig. 5):

$$\text{LMWL: } \delta^2\text{H} = 7.348 \cdot \delta^{18}\text{O} + 3.7736 \quad (r^2 = 0.9436)$$

5월과 7월 취수조 시료들의 산소-수소 동위원소비는 강우의 지역강우 순환수선(Local Meteoric Water Line; LMWL)을 따라서 분포하므로, 그 기원을 강수에서 찾을 수 있다. 즉, 5월 취수조의 정체된 물들도 그 기원은 강수로 판단된다. 나아가, 7월 14일 물골 취수조 저장수의 산소-수소 동위원소비는 7월 6일 강수시료의 동위원소비와 유사하다. 이는 취수조의 저장된 물을 모두 배수한 후, 새롭게 유입된 지하유출수이므로, 가장 근접한 시기의 강수가 함양되어 물골의 지하유출수로 나오고 있음을 지시한다.

3.3. 물골 지하유출수의 수질

물골 지하유출수는 암반의 파쇄면을 따라서 유출(seeping)되고 있는 상태여서, 이 연구에서 벽면으로부터의 직접적인 수질시료 채취는 불가능하였다. 따라서 동굴 내부로 들어온 유출수가 바닥면을 통해서 취수조로 유입되고 있는 상태이므로, 취수조의 물시료를 채취하여 현장 수질측정기(Orion multiprobe)를 이용하여 수온, pH, EC 등을 측정하였고, 취수조 내 지하유출수의 오염관련 성분과 그 기원을 확인하기 위하여 물 시료의 Cl, Br, NO₃, SO₄ 농도를 연세대학교 지하수 연구실의 이온크마토그래피를 이용하여 정량분석하였다 (Table 3).

2021년 5월 14일 현장 조사 당시에 취수조의 덮개를

Table 3. Water-quality parameters of the samples from the Moolgol water reservoir and sea water of the shoreline of Seodo

Sample	Temp °C	pH	EC mS/cm	Cl	Br	NO ₃ mg/L	SO ₄	Remarks*
D-1	15.9	7.94	15	7,718	26.0	153	1,418	-70 cm bgs
D-2	16.0	7.85	11	5,923	10.2	179	547	-50 cm bgs
D-3	16.3	7.34	3.4	789	2.6	168	140	-30 cm bgs
Moolgol				670		189	184	newly recharged
Sea-1			53	18,734	64	<100**	2,549	
Sea-2			53	18,550	64	<100	2,533	

* Remarks indicate the sampling depths below ground surface. At the sampling time, the water level was -20 cm bgs.

** NO₃ concentrations were shown with the detection limit reflecting the dilution rates.

Fig. 6. Blocked water flow from the collecting reservoir to the storage tank and to drain outlet at the Moolgol on May 14th, 2021.

열었을 때, 취수조의 물은 유동하지 않는 것처럼 보였다. 이는 Fig. 6에 보이듯이 취수조-> 착수정-> 침전지-> 배수지로 연결되는 물의 흐름 구조에서 침전지와 배수지 사이의 배수용 수전(수도꼭지)가 파손되어 물의 흐름이 막혀있는 상태였으므로, 취수조는 착수정으로 유입되는 최상부까지 물이 차 있는 상태였다.

취수조 내 물에는 다양한 생물체(곤충류)가 서로 다른 심도에 부유하고 있는 것으로 보아, 고여있는 물이 염도에 의한 밀도차를 보이며 층상을 이루고 있는 것으로 유추하였다. 이러한 취수조 물의 층상 특성을 파악하기 위하여, 수조의 상부면을 기준으로 -70 cm, -50 cm, -30 cm 에서 시료를 채취하였다. 이때 취수조의 수면은 -20 cm 였다.

각 심도별 시료에서 수온과 pH 에 대해서는 큰 변화가 보이지 않았으나, 총용존이온함량을 지시하는 전기전도도(EC) 값과 Cl, Br, SO₄ 등은 그 농도값이 심도에 따라 명확한 차이를 보여주었다 (Table 3). 예를 들어, Cl 농도는 심부 7,781 mg/L, 중간 5,923 mg/L, 천부 789 mg/L

로, 가장 심부에서 높게 나타나며, 상부에서 낮아짐을 보여준다. 이와 동일한 변화가 Br, SO₄ 등에서도 나타나서, 취수조의 물이 염분도에 의한 층상화가 진행되었음을 잘 보여준다. 그러나 NO₃ 농도는 큰 변화가 보이지 않고, 오히려 각각의 층에서 다른 값으로 나타나서 이들 층상화가 형성되는 과정에 유입된 오염물질의 특성을 보여주는 것으로 해석할 수 있다.

2021년 5월 14일 현장조사 이후 2개월이 지난 시점 (2021년 7월 14일)에 한국해양과학기술원 연구진이 물골에 재방문하여 취수조에 저장된 물을 모두 양수한 후, 새롭게 유입되는 물을 채취하고, 그 성분과 동위원소비를 분석하였다. 7월 14일에 채수된 물의 Cl, NO₃, SO₄ 이온의 함량은 각각, 670 mg/L, 189 mg/L, 184 mg/L 로 나타났다 (Table 2), 5월 14일에 채수한 취수조의 물에서 지면으로부터 -30 cm 정도의 가장 천부의 수질과 유사하다. 이러한 유사성은 산소-수소 안정동위원소비에서도 7월 14일 채수된 취수조의 시료와 가정 근접한 강수의 시료에서도 나타난다. 따라서 5월 14일 취수조의 층상화된 물에서 가장 천부의 물은 염도(salinity)가 가장 낮은 지하유출수가 취수조로 유입되어 최상위층에 존재하는 것으로 볼 수 있다.

수질 기준에 대한 비교에서는, 이들 각 이온 성분들의 먹는물 수질기준이 250 mg/L, 50 mg/L, 250 mg/L 이므로, 취수조로 유입되는 지하유출수는 염소와 질산염 이온성분에 대하여 음용에 적합하지 않은 것으로 판단된다. 질산염(NO₃) 이온 성분의 경우, 평균해수에서 <100 mg/L 이나, 취수조의 물에서는 5월 14일 시료에서 심도에 따른 큰 차이가 없이 평균 167 mg/L 이고, 7월 14일의 새롭게 유입된 물에서도 189 mg/L 로 나타났다 (Table 2). 따라서 서도에서 강수가 물골로 유입되어 취수조로 유동하는 과정에서 지속적으로 질산염의 부하가 발생하고 있음을 의미하며, 이는 서도 지표면에서 강수의 함양과정에 갈매기 등 조류의 배설물에 의한 오염이 지속적으로

발생하고 있음을 지시한다.

평균해수의 Cl 농도가 19,000 mg/L 이고, SO₄ 이온은 2,700 mg/L, Br 이온은 67 mg/L 임을 고려할 때 (Goldberg *et al.*, 1971), 독도의 서도 앞에서 채취한 해수는 평균해수의 성분을 보인다 (Table 3). 5월 14일 현장에서 취수조의 심도별 층상화된 물의 성분은, 부분적으로는 해수의 유입에 의한 혼합 가능성을 제시한다. 이에 대해 한국해양과학기술원(2021)은 취수조에 염분(salinity) 자동관측장비를 설치하고 시간적 변화양상을 분석하여 지하유출수의 염분의 기원으로 강한 파도의 영향에 의한 해수의 유입 가능성을 제시함과 동시에, 장기적인 추가조사의 필요성을 언급하였다.

4. 결 론

국제법상 섬(island)으로서 법적 지위를 인정받게 된다면 그 섬은 자체의 영해, 접속수역, 배타적 경제수역, 대륙붕과 같은 관할수역을 가질 수 있다. 1982년 UN-해양법협약 (United Nations, 1982)은 제121조에서 섬(islands)과 암석(rocks)에 관한 통상적인 규정으로, “인간의 거주 혹은 독자적인 경제활동을 영위할 수 있는가의 여부”를 판단의 기준으로 제시하고, 모든 섬(islands)은 영해, 접속수역, 배타적 경제수역 및 대륙붕을 가질 수 있으며, 암석(rocks)은 배타적 경제수역과 대륙붕을 인정하지 않는다고 정의하고 있다 (Kim, 2018). 이러한 국제법적 논거에 의하면, 독도가 인간의 거주 혹은 독자적인 경제활동을 영위할 수 있는 섬(islands)임을 입증한다면, 그에 따르는 영해, 접속수역, 배타적 경제수역 및 대륙붕의 소유가 인정됨을 의미한다고 볼 수 있다. 이러한 관점에서, 독도에 지속적인 거주와 생활이 가능한 수자원의 존재와 확보는 중요한 의미를 갖는다.

독도의 유일한 지하수 유출은 서도의 물골에서 확인되고 있으며, 그 유출량은 Lee and Chun(1996)이 약 0.5~1.1 m³/d로, Cho *et al.*(2011)는 1.12 m³/d ~ 7.02 m³/d의 범위에서 강수의 영향을 받는 것으로 산정하였으며, 이 조사에서는 1.43 m³/d ~ 2.72 m³/d로 나타났다. 따라서 서도 물골에서는 최소한 1.1 m³/d의 지하수 유출이 지속적으로 발생하고 있으며, 강수가 발생할 시에는 일강수량의 약 36% 정도가 지하유출수로 산출된다.

물의 산소-수소 안정동위원소비의 분석결과는 물골 지하유출수의 기원이 강수임을 지시하며, 수질은 새롭게 함

양된 물을 기준으로 할 때, 생활용수와 음용수로 사용하기에는 부적합한 염도와 질산염 농도를 보인다. 이는 강수가 물골로 유입되는 과정에서 서도 지표면의 해무와 파도에 의해 농축된 염분과 갈매기 등 조류 배설물로부터 용탈된 성분으로 추정된다. 이상과 같은 물골 지하유출수의 유출량과 기원 및 수질성분을 고려할 때, 현재 설치된 취수조와 저수조 및 배수구는 유출수의 자연적인 흐름을 방해하지 않는 방식으로의 구조변경이 필요하다.

사 사

독도 강우 시료채취를 도와주신 독도 등대관리소 직원분들께 깊은 감사를 드립니다. 이 연구는 해양수산부의 지원사업인 ‘독도의 지속가능한 이용연구(PG52911)’의 지원으로 수행되었습니다.

References

- Cho, B.W., Yun, W., Lee, B.D., Song, W.K., Hwang, J.H. and Choo, C.O. (2011) Discharge characteristics of the Seodo Mulgol Spring, Dokdo. *Engineering Geology*, v.21, p.125-131. doi: 10.9720/kseg.2011.21.2.125
- Goldberg, F.D., Broecker, W.S., Grosse, M.G. and Turekian, K.K. (1971) Marine chemistry, in *Radioactivity in the marine environment*: Washington, D.C., National Academy of Sciences, p.137-146.
- Kee, W.S., Kim, B.C., Kihm, Y.H., Cho, D.L., Lee, S.R. and Lee, Y.S. (2012) Geological Report of the Dokdo sheet (Scale 1:2,500), Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 91p.
- Kim, I.H. (2018) A Study on the Legal Status of Dokdo having Maritime Jurisdiction Zones in International Law. *Maritime Law Review*, v.30, p.273-300.
- Kim, Y.B., Min, W.K., Woo, M.S., Yoon, S.J., No, H.S., Shin, J.Y. and Joo, H.K. (2021) Report of the Moolgol in Dokdo. Korea Institute of Ocean Science & Technology, 87p.
- Lee, K.C. and Chun, B.C. (1996) Groundwater Potential in Dokdo Island. *Rural and Environmental Engineering Journal*, v.53, p.29-41. doi: 10.14443/kimlaw.2018.30.2.10
- Park, J.H. and Park, J.S. (2020) Management issues of the Moolgol in Dokdo and the necessity of its recovery. Presentation in the Seminar, Pohang University of Science & Technology, Aug. 17, 2020.
- United Nations (1982) United Nations Convention on the Law of the Sea. Montego Bay, 10 December 1982. (https://world.moleg.go.kr/web/wli/lgsInfoReadPage.do?CTS_SEQ=12167&AST_SEQ=309&ETC=1, accessed on Feb.27, 2022)