

## 수리지질 특성을 고려한 제주도 서부 해안지역 용천의 유형 분류

고창성<sup>1</sup> · 고은희<sup>2\*</sup> · 박원배<sup>1</sup> · 고기원<sup>3</sup><sup>1</sup>제주연구원 제주지하수연구센터<sup>2</sup>제주대학교 지구해양학과<sup>3</sup>제주곶자왈공유화재단 곶자왈연구소

## Classification of Spring Types in the Western Coastal Area of Jeju Island, Korea, Based on the Hydrogeological Characteristics

Koh Chang-Seong<sup>1</sup> · Koh Eun-Hee<sup>2\*</sup> · Park Won-Bae<sup>1</sup> · Koh Gi-Won<sup>3</sup><sup>1</sup>Jeju Groundwater Research Center, Jeju Research Institute, Jeju City 63147, Republic of Korea<sup>2</sup>School of Ocean and Earth Sciences, Jeju National University, 102 Jejudaehak-ro, Jeju City 63243, Republic of Korea<sup>3</sup>Gotzawal Research Center, The Gotzawal Trust of Jeju, Jeju City 63345, Republic of Korea

## ABSTRACT

This study aimed to classify spring types based on the hydrogeological characteristics of springs in Yongsu-ri-Hamo-ri coastal area in western part of Jeju Island. The springs in study area can be broadly categorized into three groups: perched groundwater springs (soil type), perched groundwater springs (sediment type), and basal groundwater springs. The perched groundwater springs of soil type correspond to springs where groundwater seeps out from the perched aquifer formed in the soil layer due to the development of clayey Kosan Formation beneath the surface. Because of the low hydraulic conductivity of soil layer, the average of spring discharge is less than 1 m<sup>3</sup>/day. The quality of spring water is significantly influenced by agricultural activities, resulting in high nitrate nitrogen concentrations and electrical conductivity. While the perched groundwater springs (sediment type) of the Suwolbong Tuff, which are located in the upper part of Kosan Formation, exhibited relatively higher discharge rates, their water quality was similar to soil-type springs. Basal groundwater springs are located in the zone of basal groundwater, mostly near the coastline. This type of spring appears to discharge of up to 3,707 m<sup>3</sup>, and the salinity content varies with the tidal fluctuations, especially increasing significantly during dry seasons.

**Key words:** Spring, Hydrogeological classification, Groundwater, Perched aquifer, Basal aquifer

## 1. 서 론

용천(spring)의 정의는 연구자(Bryan, 1919; Meinzer, 1923; Kresic, 2010)에 따라 다소의 차이는 있으나, ‘대수층을 흐르던 지하수가 암석이나 지층의 틈을 통해 자연적으로 지표면이나 지표수체로 흘러나오는 곳’을 말하며, 용천에서 솟아나는 지하수를 ‘용천수(spring water)’라 한다.

주저자: 고창성, 전문연구위원

공저자: 박원배, 센터장; 고기원, 연구소장

\*교신저자: 고은희, 교수

Email: ehkoh@jejunu.ac.kr

Received : 2023. 09. 04 Reviewed : 2023. 09. 19

Accepted : 2023. 10. 06 Discussion until : 2023. 12. 31

제주도에는 661개소의 용천이 있는 것으로 보고된 바 있으나(Jeju Special Self-Governing Province, 2016), 개발사업 등으로 인해 매립되거나 수량이 고갈되어 현재 646개가 남아있으며, 용출량이 많은 10여 개소는 상수원으로 이용되고 있다(Jeju Special Self-Governing Province, 2022). 제주도 용천에 대한 조사·연구는 1930년대부터 수행되었으며, 초창기 조사의 대부분은 당시 열악한 급수 문제를 해결하기 위한 이용 방안 수립에 필요한 수량과 수질을 파악하는데 중점을 두었다(Muroe et al., 1938; Ministry of Construction, 1965a, b; Ministry of Agriculture, Forestry, Fisheries and Agricultural Development Corporation, 1971). 1980년대에 들어오면서부터 용천의 수리지구화학적 연구(Ahn et al., 1984; Choung et al.,

1985; Choung et al., 1986, Ahn et al., 1989; Kim and Ahn, 1992; Park, 1996; Kim, 1996; Lee et al., 2002) 들이 진행되어 용천수의 수질조성, 체류시간, 수질진화 등에 관한 정보들이 축적되었다. 또한 용천수 수질 자료를 이용하여 용천의 유형을 분류하기 위한 연구도 수행되었으며(An et al., 2007; Kim et al., 2007), 제주도 전역의 용천을 용출지점의 지질특성에 따라 용암류 경계형, 절리형, 사력층형으로 분류한 바 있다(Jeju-do, 1999).

용천은 지하수가 지상으로 배출되는 지점으로 지하수 순환시스템을 지시하는 창(windows)과 같은 역할을 한다. 그러나 지금까지 제주도 용천의 지질구조, 수량, 수질, 그리고 대수층과의 관계 등의 수리지질 특성은 종합적으로 제시된 바가 없다. 또 최근에는 지하수 기원이 아닌 빗물이 고여 습지나 연못을 이루고 있는 봉천수(奉天水)도 용천으로 간주하는 문제도 생겨나고 있다. 이처럼 제주도 용천의 정의가 모호해지는 까닭은 용천의 제반 수리지질 특성을 고려한 유형 분류가 이루어지지 않은데 비롯되었다 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 제주도 서부의 한경면 용수리에서 대정읍 하모리에 이르는 해안저지대에 분포하는 용천을 대상으로 구성지질 및 지질구조, 용출량, 수질에 대한 수리지질 자료를 종합적으로 해석하고, 이에 근거하여 용천의 유형을 구분하였다.

## 2. 연구지역의 수리지질

연구지역은 지형 경사가 완만하고, 점토질의 많은 암갈색 비화산회토가 넓게 발달하여 과거 제주도 논농사의 중심지였다. 30년(1991~2020) 고산관측소의 연평균 강수량은 성산관측소보다 약 847 mm나 적은 1,183 mm이고, 평균 풍속은 7 m/s로 제주도 내에서 가장 바람이 강한 기후 특성을 보인다(Jeju Regional Office of Meteorology homepage, August 29, 2023).

지질은 대부분 점성이 낮은 현무암질 파호이호이 용암류(pahoehoe lava flow)로 이루어져 있다. 용암류는 대체로 풍화가 많이 진행된 상태이고, 그 위를 평균 1~3 m 두께의 암갈색 비화산회토가 피복하고 있어 용암류가 노출된 곳이 적은 편이다. 또, 화산쇄설층으로 이루어진 당산봉, 수월봉, 송악산, 단산, 하모리층이 해안을 따라 분포하고 있다.

지하지질구조는 하위에서 상위로 기반암-U층-서귀포층-화산암층 순의 층서를 이룬다(Koh, 1997; Lee, 2008). 화산암류 하위에 분포하는 서귀포층은 제주도의 화산활동

이 시작되면서부터 퇴적이 진행된 저투수층으로서, 제주도 전역에 분포하고 있으며 평균 두께는 100 m에 달한다. 연구지역의 서귀포층은 동부지역(해수면 하 90~120 m)보다 훨씬 얇은 해수면 하 50~70 m 깊이부터 형성되어 있다(Koh, 1997; Koh et al., 2022).

서귀포층 상부 즉, 지표로부터 서귀포층까지 사이에 분포하는 화산암류는 광역적인 육상 화산활동이 활발하게 전개된 0.3~0.1 Ma 사이에 분출된 용암류로 이루어져 있다(Koh et al., 2013). 해발 50 m 이하의 해안지역 시추공 시추코어에 대한 지질검층 결과에 의하면, 용암류 단위는 평균 11매이고 평균 단위두께는 8 m이다(Koh et al., 2017). 또한, 용암류 사이에는 심도를 달리하여 고토양층, 화산회층, 역암층, 사암층, 미고결 패사층 등의 퇴적층이 협재되어 있다. 이들 퇴적층의 두께는 대체로 1 m 내외이나 5~11 m인 경우도 있으며, 고결된 것에서부터 미고결 상태로 존재하는 것까지 상이한 암상을 나타낸다.

수성화산분화에 의해 형성된 수월봉 응회구는  $18,675 \pm 165$  BP(Lim et al., 2015), 송악산 응회구는  $3,740 \pm 50$  BP(Sohn et al., 2002)로 비교적 최근에 형성되었으나, 당산봉은  $327 \pm 11$  Ka(Koh et al., 2013) 연대를 나타내는 오래된 응회구이다. 이들 수성화산은 준고결 내지 고결의 화산쇄설층으로 이루어져 있고, 해안에 분포하고 있어 지하수의 배출을 국지적으로 지연시키는 차수벽과 같은 역할을 하고 있다.

연구지역의 지하수 부존특성은 동부지역과는 달리 기저 지하수가 한림읍 수원리에서 대정읍 하모리에 이르는 해안의 좁은 구역에만 부존하고, 그 외의 지역에는 준기저 지하수가 형성되어 있다. 특히, 용암류 사이에 협재된 퇴적층은 가압층 역할을 하여 지하수위가 동부지역에 비해 전반적으로 높은 위치에 형성되어 있다. 한편, 서부지역 지하수의 환경동위원소 연구 결과(Koh et al., 2006), 지하수의 CFC-12 걸보기 연령은 평균 30년, 최대 62년으로 지하수의 순환속도가 제주도 내에서 가장 느린 것으로 확인된다.

## 3. 연구방법

연구지역은 한경면 용수리에서 대정읍 하모리에 이르는 제주도 서부 및 서남부지역으로서 한경과 대정읍역에 해당한다(Fig. 1). 이 지역에는 총 33개소의 용천이 분포해 있으며, 1개소는 고갈된 상태이다. 이들 용천은 한경면 고산리와 대정읍 동일리 해안을 제외하면 전반적으로 해발 10 m 이하의 해안 저지대에 위치해 있다.

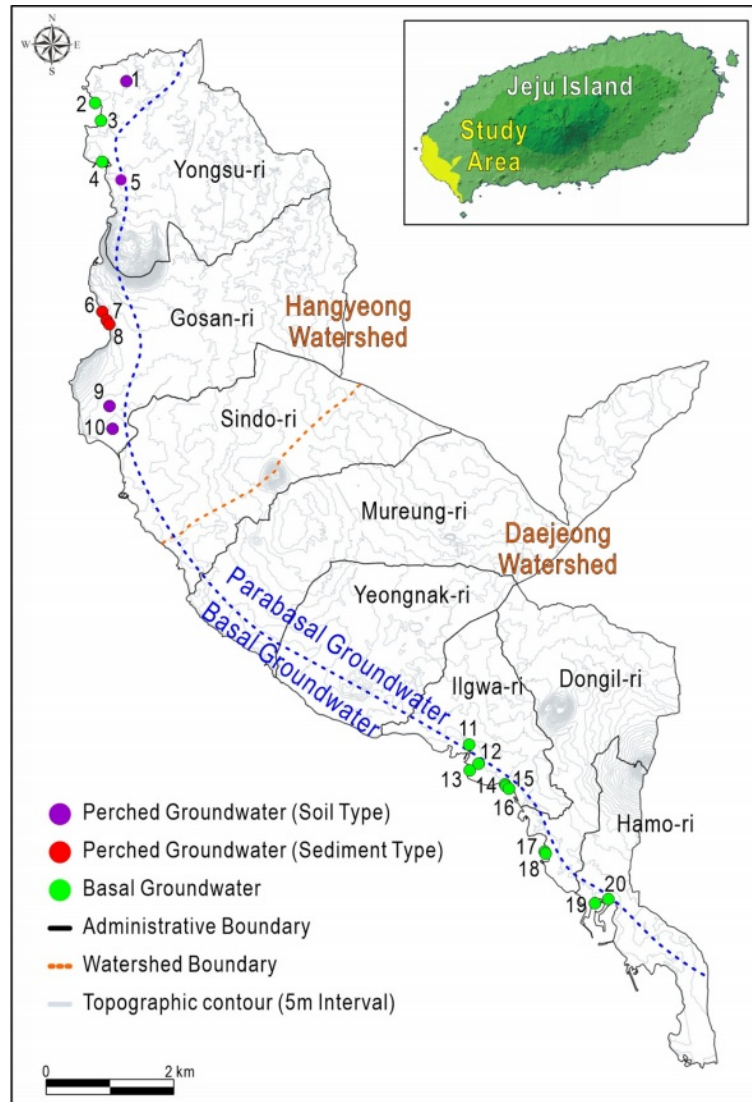


Fig. 1. Location map of study area and springs. For spring names, see Table 1.

용천의 용출량은 1일  $100 \text{ m}^3$  이상 용출이 유지되는 것은 8개소에 불과하고, 용출량 측정이 불가할 정도로 미미한 곳이 20개소에 달한다(Jeju Special Self-Governing Province, 2022). 또 서림물 용천을 제외하면 용출량이  $4 \sim 716 \text{ m}^3/\text{day}$ 로 편차가 크고, 용출구의 지질구조나 용출 현상이 남부 및 북부지역 용천과는 다르다.

이상과 같은 연구지역의 용천 현황과 특징을 고려하여 용출량이 비교적 많은 용천과 용출량은 적지만 과거 지역 주민들이 먹는물로 이용했던 용천, 그리고 용천수 수질분석이 이루어진 20개소의 용천을 대상으로 현장조사를 실시하였다(Fig. 1). 현장조사에서는 용출구의 지질구조와 용출형태를 파악함과 아울러, 용출량과 현장수질(수온, 전기

전도도)을 측정하였다(Table 1). 용출량은 전자식 유속계(OTT MF PRO)를 활용하여 유속을 측정하고 수심에 따른 단면적을 적용하여 유량을 산정하였으며, 유속측정이 불가능한 경우에는 시간당 유량측정방법으로 산정하였다. 현장에서 측정 가능한 수질 항목(수온, 전기전도도)은 Thermo Orion STAR A329 다항목 수질측정기로 측정하였다. 또한, 조사대상 용천의 용출량과 수질자료는 제주특별자치도와 한국지질자원연구원에서 용천수 보전·관리 정책 수립을 위해 실시한 전수조사 자료를 이용하였다(Jeju-do, 1999; Jeju Special Self-Governing Province, 2016, 2022; Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 2010).

**Table 1.** Basic information and type of springs in study area

No.	Name	Type		Elevation (m)	Watershed
		Main	Sub		
1	Umnmul	Perched	Soil	5	Hangeong
2	Gunmul	Basal	-	0	
3	Gurimul	Basal	-	0	
4	Mosalmul	Basal	-	2	
5	Zhobjinmul	Perched	Soil	9	
6	Mulmajneuneongalmul	Perched	Sediment	9	
7	Eongalmul (Yonguncheon) (1)	Perched	Sediment	4	
8	Eongalmul (2)	Perched	Sediment	2	
9	Hanjangmultong (1)	Perched	Soil	13	
10	Hanjangmultong(2)	Perched	Soil	10	
11	Seorimul	Basal	-	4	Daejeong
12	Halmangmul	Basal	-	1	
13	Neunggaemul (Neunggaengimul)	Basal	-	0	
14	Jangsuwonmul (Udongdangmul)	Basal	-	4	
15	Eongmul	Basal	-	3	
16	Gamaemul	Basal	-	3	
17	Hongmul	Basal	-	1	
18	Saengimul	Basal	-	1	
19	Yejimul (Yejomul)	Basal	-	3	
20	Sinyeongmul	Basal	-	5	

**Table 2.** Spring types according to geology, spring discharge and water quality in study area

Spring Types	Geology	Mode of Discharge	Mean Discharge (m <sup>3</sup> /day)	Temp. (°C)	EC (μg/cm)	NO <sub>3</sub> -N (mg/L)
Perched spring	Surface soil	Seepage	>1	12~22	400~1,178	15~58
	Sedimentary deposits (Tuff)	Seepage	2~15	15~20	781~862	32~51
Basal spring	Lava flows	Spring	40~3,707	14~18	126~23,000	3~5

#### 4. 연구결과

연구지역에 분포하는 용천에 대한 현장조사와 기존자료 분석으로부터 파악된 용출구의 지질구조, 용출 형태, 용출량, 수질(전기전도도, pH, 질산성질소)을 종합 분석한 결과, 연구지역의 용천은 3가지 유형으로 분류할 수 있다 (Table 1, 2).

##### 4.1. 주수형 용천

주수형 용천은 주수대수층(perched aquifer)으로부터 배출되는 지하수에 의해 형성된 용천을 말한다. 주수대수층이란 ‘비포화대 내의 투수성이 낮은 퇴적층(물)이나 치밀 질 암석층 상부에 형성되는 소규모 대수층’으로서, 비포화대가 두꺼운 지하수 함양지역에 주로 발달한다(Nichols

et al., 1996). 제주도에서 주수대수층은 중산간 및 고지대 지역에 발달(Choi, 1990; Koh et al., 2017)하고 있으나, 얇은 비포화대가 해안 저지대에 분포하는 것은 Koh (2011)에 의해 처음 보고되었다.

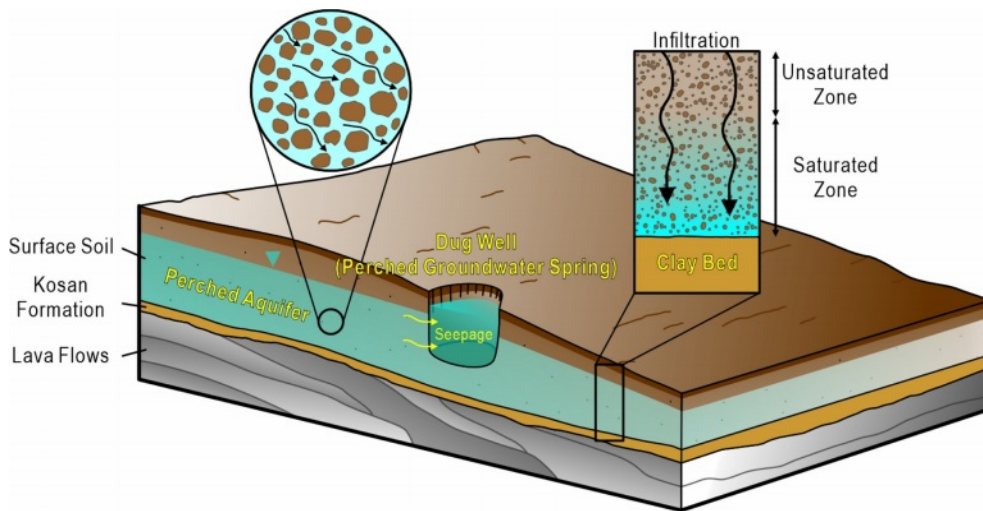
##### 가. 토양층에 발달하는 용천

이 유형의 용천은 표토를 이루는 암갈색 비화산회토층에 발달하는 용천으로 한경면 용수리의 좁진물, 고산리의 한장물통 1 및 2가 이에 해당한다. 또, 용천은 아니지만 대정읍 영락리 지역에 표토층을 1 m 정도 굴착한 우물이 존재하고 있는 것으로 미루어 볼 때(Fig. 2d), 암갈색 비화산회토가 분포하는 지역에 국지적으로 발달하고 있는 것으로 추정된다.

고산리 지역은 1970년대 초 토양층에 설치된 우물(dug



**Fig. 2.** Perched springs formed in surface soil layer. Perched groundwater identified at the incision site (a), a pond of groundwater origin located near Dangsanbong (b), dug wells filled with perched groundwater seeping from the soil layer (c) and (d).



**Fig. 3.** Schematic illustration of perched aquifer and perched groundwater spring formed in soil layer by Kosan Formation.

well)이 6개소(FAO, 1972)가 있을 정도로 주수대수층이 발달되어 있는데, 이 지역은 표토층(암갈색 비화산회토) 하부에 저투수성의 고산층(점토층)이 발달되어 있다(Koh, 2011). 주수대수층은 점토질로 이루어진 0.5~1.0 m 두께의 고산층 상위에 형성된다(Fig. 3). 즉, 지표층을 통과한 빗물과 농업용수 회귀수가 고산층에 의해 하방으로 침투하지 못하고, 토양층 하부를 채우고 있다가 고산층이 지표가

까이 위치한 지점이나, 인력으로 굴착한 우물 또는 웅덩이로 스며 나오는(seepage) 형태의 용천이다. 고산리 한장물통 1과 2는 용출량이 극히 미미해 용출 현상을 관찰할 수 없지만, 현재 고산리 농경지에는 주수를 농업용수로 이용하기 위한 물웅덩이가 여러 곳에 있다(Fig. 2).

전반적으로 이 유형의 용천은 일평균  $1\text{ m}^3$  미만의 용출량을 나타내는데, 이는 제주도 토양층의 평균 수리전도도



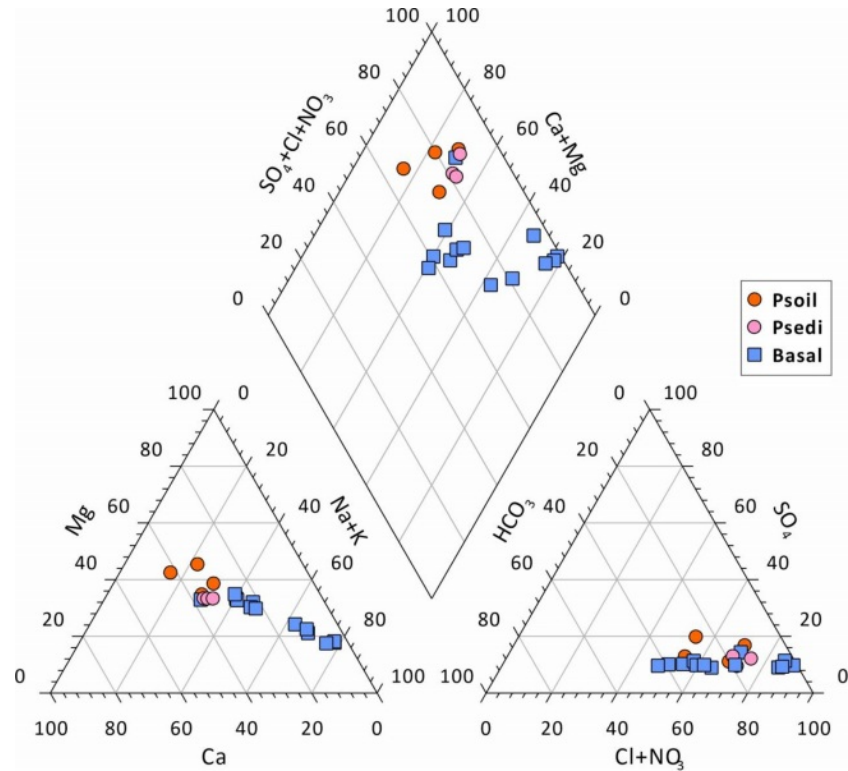


Fig. 4. Piper diagram showing water quality based on spring types. Psoil: perched groundwater spring (soil), Psedi: perched groundwater spring (sediment), Basal: Basal groundwater spring.

가 18 cm/day로(Park and Kang, 2019) 매우 낮는데 연유한다. 수온은 12~22°C로 변화폭이 크며, 전기전도도와 질산성질소는 각각 400~1,178  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 와 15~58 mg/L 범위를 나타낸다. 특히, 한장물동 2에서 연구대상 용천 중 질산성질소 농도 최고치가 관측되었다. 이처럼 수질이 안 좋은 것은 농경지에 뿌리는 화학비료와 퇴비 중의 성분들이 빗물 및 회귀수에 섞여 주수대수층으로 침투한데 따른 것으로 해석된다. Fig. 4의 파이프 다이어그램(Piper diagram)에서 나타난 토양층 주수형 용천(Psoil)의 수질유형은 Ca-Mg-Cl-NO<sub>3</sub>형으로 대수층이 주로 알칼리 현무암으로 이루어진 제주도의 배경 지하수 수질유형인 Na-K-HCO<sub>3</sub>형(Ko et al., 2005; Koh et al., 2009)과는 차이가 있다.

#### 나. 퇴적층에 발달하는 용천

토양층에 발달하는 용천과는 달리 이 유형은 고산리 해안의 수월봉응회암층에 국한되어 발달하는 용천으로 영알물, 물맞는영알물이 대표적인 용천이다(Fig. 5). 고산리 자구내포구에서 한장동에 이르는 약 3 km 해안은 토양층(암갈색 비화산회토) 하위에 20~70 m 두께의 수월봉응회암

층이 절벽을 이루고, 그 아래는 고산층이 분포한다. 고산리 일대의 농경지에 내린 빗물과 회귀수가 토양층을 거쳐 수월봉응회암층의 미세 공극을 따라 하방으로 이동하여 수월봉응회암층의 하단부에 도달하면, 점토층에 막혀 하방 침투가 방해를 받기 때문에 주수대수층이 형성된다(Fig. 6). 이 대수층을 채우고 있는 지하수는 절벽면을 통해 물방울 형태로 해안으로 배출된다. 이에 따라 과거 고산리 주민들은 수월봉응회암층 하단부에 웅덩이를 만들어 절벽에서 떨어지는 주수를 모아 사용하였다.

일평균 용출량은 2~15 m<sup>3</sup>/day 범위로 토양층에 형성된 주수형 용천보다는 용출량이 많은 편이나, 수온은 15~20°C로 유사하게 큰 변화폭을 가진다. 전기전도도와 질산성질소 농도는 각각 781~862  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 32~51 mg/L의 범위이며, 수질유형은 Ca-Mg-Cl-NO<sub>3</sub>형으로 앞선 토양층 용천과 같다(Fig. 4). 이러한 결과는 토양층 용천과 같이 수월봉응회암층 내에 발달된 주수대수층 또한 화학비료와 퇴비 성분들이 녹아든 빗물과 회귀수의 직접적인 영향이 있음을 나타낸다.

한편, 그동안 제주도의 수리지질을 설명하는데 있어 수성화산분화에 의해 형성된 응회암층을 저투수성 내지 불

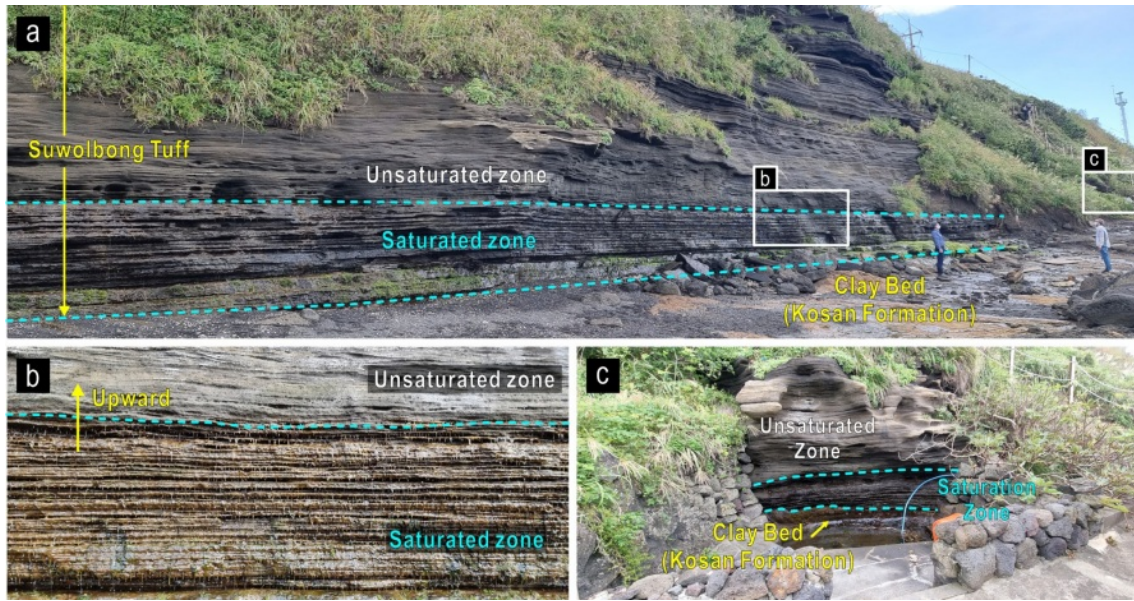


Fig. 5. Perched groundwater spring widely developed at the bottom of the coastal cliff of Suwolbong Tuff.

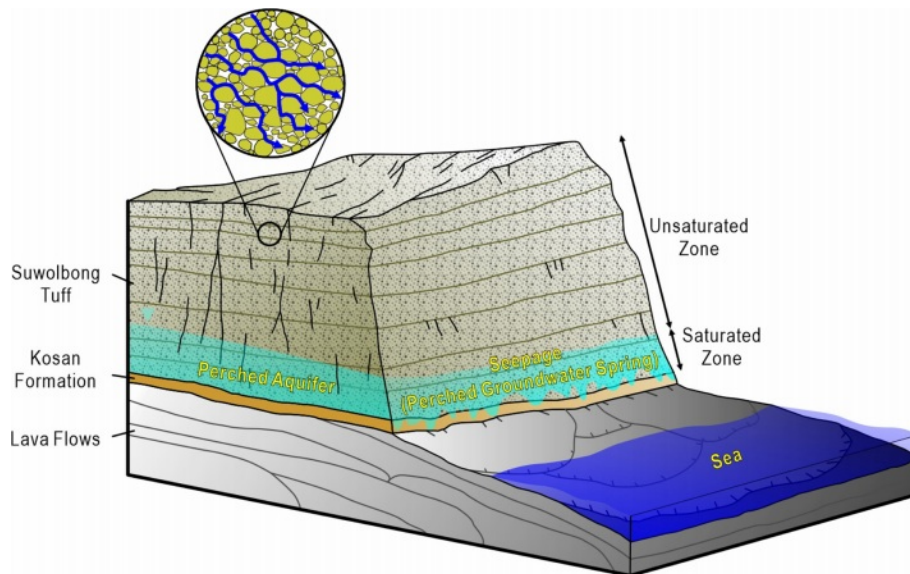


Fig. 6. Schematic illustration showing the perched aquifer and perched groundwater spring in Suwolbong Tuff formed by blocking groundwater moving downward along the pores of tuff by Kosan Formation.

투수성 지층으로 분류해 왔으나, 수월봉 응회암층에 발달하는 주수대수층의 사례로 볼 때, 응회암층의 고결도와 수리전도도를 기준으로 재평가가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

#### 4.2. 기저지하수형 용천

기저지하수(basal groundwater)는 해수면 하부 지층의 틈을 따라 유입된 해수 상부에 담수 지하수가 부존하는

형태의 지하수체를 말하며, 1900년대 초 미국 하와이주에서 처음으로 사용하였다(Koh, 2001). 담수지하수가 해수 상부에 부존할 수 있는 것은 담수와 해수의 밀도 차이에 의해 설명되며, 담수와 해수 사이에는 혼합대 또는 접이대가 형성된다(Meinzer, 1930).

연구지역의 기저지하수체가 분포하는 해안의 현무암질 용암류 경계면이나 선단에 발달하는 용천을 기저지하수형 용천으로 정의하였다. 연구지역 내 대표적인 기저지하수



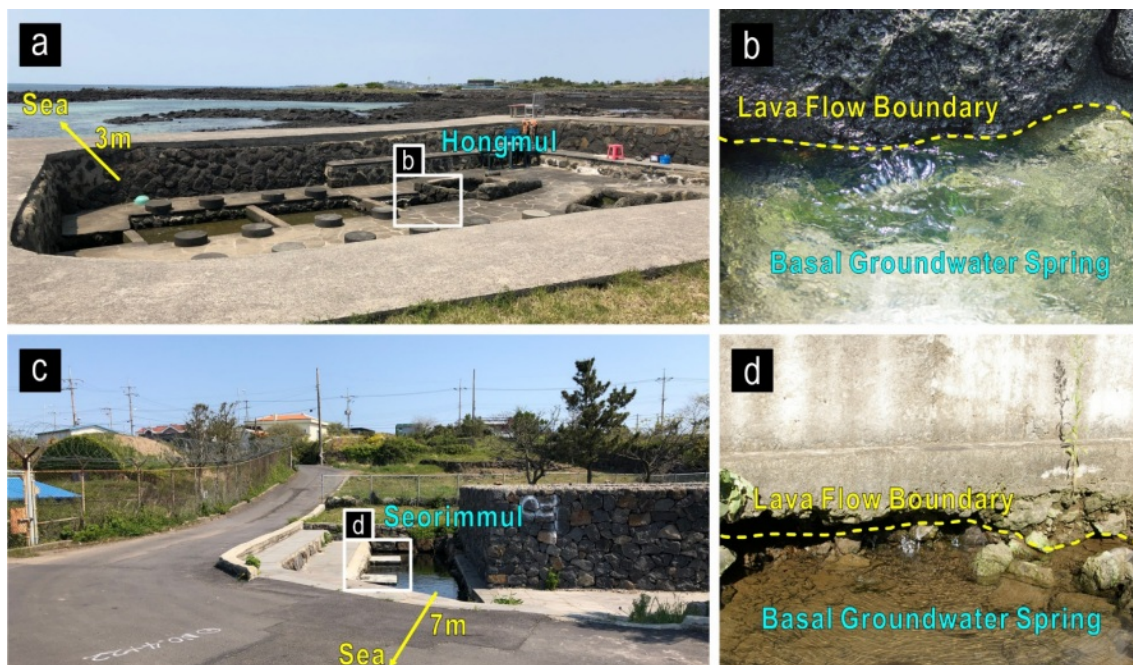


Fig. 7. Basal groundwater springs (Hongmul and Seorimmul) flowing out of the surface along the lava flow boundaries.

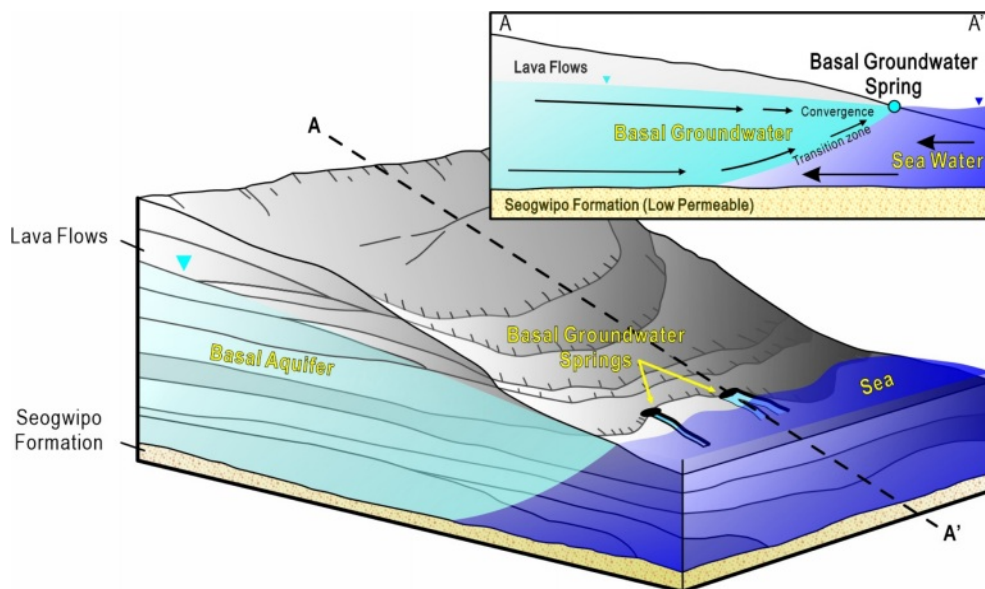


Fig. 8. Schematic illustration of basal groundwater spring formed in the basal aquifer zone where fresh groundwater and sea water are in contact.

형 용천으로는 용수리 모살물, 일파리 서림물, 동일리 홍물, 하모리 예지물(예조물)을 들 수 있다(Fig. 7). 특히, 대정읍 일파리 해안에는 서림물, 능개물(능갱이물), 할망물, 가매물, 엉물, 장수원(웃동당물)물 등 다수의 용천이 용천군(spring group)을 이루고 있으며, 일평균 20,000 m<sup>3</sup>에 달하는 대량의 지하수가 바다로 유출되고 있다(Jeju-

do, 1999).

이들 용천은 해발 200 m 이상 지역에서 함양된 지하수가 대수층을 따라 하류로 이동하여 해안가의 용암류 경계면을 통해 바다로 유출되는 지하수에 기원한다(Fig. 8). 일반적으로 유출구는 분출 시기가 다른 용암류의 상·하 또는 좌·우 접촉면, 바다로 돌출된 용암류 말단부, 계단상



의 지형을 이루는 용암류의 바닥면 등에 형성되어 있다. 용천은 대정읍 일파리에서 상모리에 이르는 지역의 해안에 주로 발달하고, 그 외 지역에는 거의 찾아보기 어렵다. 이는 용천이 발달한 지역을 통해 지하수가 주로 유출되고 있고, 규모가 큰 대수층이 형성되어 있음을 시사한다. 이들 용천 대부분은 조석에 따라 수량, 수질, 수위의 변화가 일어나고, 심한 가뭄 때에는 해수 침투현상도 발생한다.

한편, 평균 용출량은  $40\sim3,707\text{ m}^3/\text{day}$ 로 주수형 용천보다 훨씬 많으며, 수온은  $14\sim18^\circ\text{C}$ 로 일반적인 지하수의 수온을 나타낸다. 전기전도도는  $126\sim23,000\text{ }\mu\text{S}/\text{cm}$  범위를 보이는데, 밀물 때나 가뭄 등으로 용출량이 감소하는 시기에는 해수의 영향을 받아 높은 값을 나타낸다. 또한 질산성질소 농도는  $3\sim5\text{ mg/L}$  범위를 가지며, 영물에서 연구 대상 용천 중 가장 낮은 질산성질소 농도가 관측되었다. 기저지하수형 용천의 수질유형은 앞선 주수형 용천과는 차이를 보이는데, 해수 영향이 높아짐에 따라서 Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>형에서 Na-Cl형으로 변화한다(Fig. 4).

## 5. 결 론

제주도 서부 용수리~하모리 해안 저지대에 분포하는 용천의 지질구조, 용출량, 수질을 종합적으로 고려하여 용천의 유형을 구분하였다. 연구지역의 용천은 크게 주수형 용천과 기저지하수형 용천으로 구분되며, 주수형 용천은 다시 토양층형과 퇴적층형으로 세분된다.

토양층에 발달하는 주수형 용천은 표토 하부에 저투수성의 고산층(점토층) 직상부 주수대수층에서 누출되는 물에 의해 형성된 용천으로서, 토양층의 낮은 수리전도도로 인하여 일평균  $1\text{ m}^3$  미만의 용출량을 나타낸다. 이 유형의 용천은 농업활동에 사용되는 화학비료의 영향으로 질산성질소 농도가 높고, 지표 가까이에 있어 수온이 높은 특징을 나타낸다.

퇴적층에 발달하는 주수형 용천은 수월봉응회암층 직하부에 분포하는 점토질 고산층 상부에 형성된 주수대수층에 기원한다. 토양층 주수형 용천에 비해 용출량은 다소 많으나, 수질은 농업활동의 영향을 받고 있다. 그동안 제주도의 수리지질을 설명하는데 있어 수성화산분화에 의해 형성된 응회암층을 저수투성 내지 불투수성 지층으로 분류해 왔으나, 수월봉응회암층에 발달하는 주수대수층의 사례로 볼 때, 응회암층의 고결도와 수리전도도를 기준으로 응회암층의 수리성 재평가가 필요하다.

기저지하수형 용천은 고지대로부터 함양되어 하류로 이동하는 지하수가 해안에서 용암류 경계면을 통해 지표 밖

으로 용출되는 용천으로서, 평균 용출량이 최대  $3,707\text{ m}^3/\text{day}$ 에 달한다. 이 유형의 용천은 담-염수 경계면이 형성되는 기저지하수가 부존하는 해안에 발달하므로 조석주기에 따라 염분함량이 달라지고, 특히 가뭄 시기에는 해수의 영향을 많이 받는다. 그러나, 전반적인 수질은 수온 및 질산성질소의 농도가 낮으며, 다수의 용천이 좁은 지역 내에 밀집해 발달하는 용천군이 형성되는 경우가 많다.

수리지질 특성을 토대로 용천의 유형을 분류한 결과, 유형별 용출량, 수질, 그리고 이와 연관된 대수층 특성이 뚜렷하게 구분됨을 확인하였다. 이 같은 연구결과는 지하수 순환시스템 연구에 용천이 보조적 지시자로 활용이 가능함을 보여준다. 또한, 농업활동을 포함한 인간의 활동에 의해 지하수의 수질의 변화를 밝히는 연구에도 용천이 유용하게 활용될 수 있음을 시사한다. 따라서, 제주도 전역의 용천을 대상으로 수리지질 특성에 기초한 유형분류 연구가 확대될 경우, 지하수 함양지역에서부터 배출지역에 이르는 제주도의 전반적인 지하수 순환시스템과 대수층과의 관계에 대한 학술적 규명이 가능하고, 용천의 수량·수질 보호 정책수립을 뒷받침하는 근거를 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

## 사 사

본 연구는 제주연구원 제주지하수연구센터의 ‘용천수 순환체계 규명 연구’ 과제로 수행되었습니다.

## References

- Ahn, J.S., Hahn, J.S., Lee, J.H., Jeong, C.J., and Yoo, J.H., 1984, Environmental isotope-aided studies on water resources in the region of Cheju, *J. Korean Assoc. Hyrol. Sci.*, **17**, 72-79.
- Ahn, J.S., U, Z.K., Choung, C.C., and Song, S.J., 1989, Environmental isotope-aided studies on water resources in the region of Cheju (IV), Report of Cheju Applied Radioisotope Research Institute, 35-59.
- An, J.G., Jung, C.Y., Park, H.J., and Kim, T.H., 2007, Aquifers and seepage patterns of springwater in Seogwipo, Jeju Island, *Korean Geomorphol. Assoc.*, **14**(3), 27-35.
- Bryan, K., 1919, Classification of springs, *J. Geol.*, **27**, 522-561.
- Choi, S.H., 1990, Hydrogeological and hydrochemical characteristics of groundwater in Cheju Island, Kyungpook National University, 169.
- Choung, C.C., Park, Y.M., U, Z.K., Yoo, K.J., and Ahn, J.S., 1985, Environmental isotope-aided studies on water resources in

- the region of Cheju (I), Report of Cheju Applied Radioisotope Research Institute, 33-46.
- Choung, C.C., U, Z.K., Ahn, J.S., and Song, S.J., 1986, Environmental isotope-aided studies on water resources in the region of Cheju (II), Report of Cheju Applied Radioisotope Research Institute, 29-44.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 1972, Tubewell irrigation project Republic of Korea: Groundwater Resources of Selected Areas of Cheju Island and the Mainland (Volume 1: Text), AGL:DP/ROK/68/524, Technical Report 1, United Nations Development Programme, Rome, 163.
- Jeju-do, 1999, Water of Jeju, Spring Water.
- Jeju Regional Office of Meteorology, <https://www.weather.go.kr/w/index.do> [accessed 29.08.23]
- Jeju Special Self-Governing Province, 2016, Management Plan of Jeju Special Self-Governing Province Spring Water.
- Jeju Special Self-Governing Province, 2022, Supplementary Plan of Jeju Special Self-Governing Province Spring Water Management Plan (2022~2026).
- Kim, J.H. and Ahn, J.S., 1992, Water chemistry and age dating of springwater in Cheju island. *J. Korean Chem. Soc.*, **35**, 727-736.
- Kim, K.C., 1996, Study on the quality of springwater at seogwipo, Cheju-do, Master thesis at Korea National University, 1-47.
- Kim, T.H., Moon, D.C., Park, W.B., Park, K.H., and Koh, G.W., 2007, Classification of springs of Jeju Island using cluster analysis of annual fluctuations in discharge variables: investigation of the regional groundwater system, *Geosci. J.*, **11**(4), 397-413.
- Ko, K.S., Kim, Y.J., Koh, D.C., Lee, K.S., Lee, S.G., Kang, C.H., Seong, H.J., and Park, W.B., 2005, Hydrogeochemical characterization of groundwater in Jeju Island using principal component analysis and geostatistics, *Econ. Environ. Geol.*, **38**(4), 435-450.
- Koh, E.H., 2011, Characteristics and source identification of nitrate contamination in groundwater, Gosan area, Jeju Island, Master thesis of Seoul National University, 1-84.
- Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 2010, A report on the survey of spring water in Jeju Island, 106.
- Koh, D.C., Chae, G.T., Yoon, Y.Y., Kang, B.R., Koh, G.W., and Park, K.H., 2009, Baseline geochemical characteristics of groundwater in the mountainous area of Jeju Island, South Korea: Implications for degree of mineralization and nitrate contamination, *J. Hydrol.*, **376**(1-2), 81-93.
- Koh, D.C., Plummer, L.N., Solomon, D.K., Busenberg, E., Kim, Y.J., and Chang, H.W., 2006, Application of environmental tracers to mixing, evolution, and nitrate contamination of groundwater in Jeju Island, Korea, *J. Hydrol.*, **327**(1-2), 258-275.
- Koh, G.W., 1997, Characteristics of the groundwater and hydrogeologic implications of the Seoguipo formation in Cheju island, Ph.D. thesis of Pusan National University, 1-325.
- Koh, G.W., 2001, Hydrological Geology and Groundwater Management in Hawaii, 1-313.
- Koh, G.W., P, J.B., Kang, B.R., Kim, G.P., and Moon, D.C., 2013, Volcanism in Jeju Island, *J. Geol. Soc. Korea*, **49**(2), 209-230.
- Koh, G.W., P, J.B., Shon, Y.K., and Yoon, S.H., 2017, Guidelines for Geological Testing of Drilling Core in Jeju Island, Jeju Special Self-Governing Province Development Co., Regional Regional Center for Land Transportation Technology in Jeju Region of Jeju, 1-293.
- Koh G.W., Yoon, Y.T., Moon, K.M., Kang, S.K., Koh, E.H., Ha, G.C., Park, W.B., and Lee, Y.D., 2022, Series of Jeju Studies, Society for Jeju Studies, 1-377.
- Kresic, N., 2010, Types and classifications of springs. Pages 31-85 in N. Kresic and Z. Stevanovic, editors. Groundwater hydrology of springs: engineering, theory, management and sustainability, Elsevier, Oxford, UK.
- Lee, B.J., Moon, S.H., Park, K.H., Koh, D.C., and Koh, G.W., 2002, Hydrogeochemical characteristics of the spring waters in Jeju, *J. Geol. Soc. Korea*, **38**(3), 421-439.
- Lee, S.H., Characteristics of Hydrogeological and Groundwater Occurrence in the Western Coastal Areas of Jeju Island, Korea, Master thesis of Cheju National University, 1-95.
- Lim, J.S., Lee, J.Y., Kim, J.C., Hong, S.S., and Choi, H.W., 2015, Paleoenvironmental and volcanologic implications of the Gosan Formation in Jeju Island, Korea, *J. Geol. Soc. Korea*, **51**(6), 537-544.
- Nichols, W.D., Shade, P.J., and JR Hunt, C.D., 1996, Summary of the Oahu, Hawaii, Regional Aquifer-System Analysis. U.S. Geological Survey Professional Paper 1412-A, 61.
- Meinzer, O.E., 1923, Outline of ground-water hydrology, with definitions. Water Supply Paper 494, U.S. Geological Survey, Washington, D.C., USA.
- Meinzer, O.E., 1930, Groundwater in the Hawaiian Islands. In: Stearns HT, Clark WO (eds) Geology and water resources of the Kau District, Hawaii, US Geological Survey Water-Supply Paper **616**, 1-28.
- Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries. and Agricultural Development Corporation, 1971, Report of Jeju Groundwater, 1-382.
- Ministry of Construction, 1965a, A Study on the Water Utilization Plan in the Highlands of Jeju Island, 1-119.
- Ministry of Construction, 1965b, Report on the Initial Investigation

tion of the Industrial Geography of Jeju Island, 1-143.

Muroe, W., Zukamoto, M., and Hino, M., 1938, Overview of Jeju Island's water supply survey (Industrial Water Survey No. 4), Japan Central Industrial Laboratory.

Park, S.W., 1996, Variation of Water Quantity and Hydrochemical Characteristics of Spring Water in Cheju Island, Master thesis of Cheju National University, 1-115.

Park, W.P. and Kang, H.J., 2019, Study on soil erosion and physical characteristics of Jeju volcanic ash soils under a rainfall simulator condition, *Korean J. Soil Sci. Fert.*, **52**(1), 60-69.

Sohn, Y.K., Park, J.B., Khim, B.K., Park, K.H., and Koh, G.W., 2002, Stratigraphy, petrochemistry and Quaternary depositional record of the Songaksan tuff ring, Jeju Island, Korea, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **119**(1-4), 1-20.