

Research Paper

포천 관인취수장 수원에 대한 수리지질 및 수리지구화학적 평가

신복수* · 고동찬** · 장윤영*

광운대학교 환경공학과*, 한국지질자원연구원 지하수연구실**

Hydrogeologic and Hydrogeochemical Assessment of Water Sources in Gwanin Water Intake Plant, Pocheon

Bok Su Shin* · Dong-Chan Koh** · Yoon-Young Chang*

Department of Environmental Engineering, Kwangwoon University*
Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources**

요약 : 관인취수장의 취수원은 하천기준으로 관련규정에 따라 취수지점으로부터 한탄강 상류 2.6km를 상수원보호구역으로 설정하여 각종 행위를 제한하고 있다. 그러나 관인취수장의 취수원이 하천수가 아닌 지하수를 취수하고 있으므로 현재 설정된 상수원보호구역과 상류의 각종 행위제한구역을 변경하여야 한다는 주장이 지속적으로 제기되었다. 이 연구에서는 이러한 주장을 검증하기 위해 수리지질 및 수리지구 화학조사를 실시하여 관인취수장의 취수원과 오염물질 유입특성을 평가했다. 관인취수장의 주변 지역은 화강암을 기반암으로 하여 상부에 총 4매의 제4기 현무암이 약 50m 두께로 충진 되어 있음을 확인하였다. 현무암 하부층은 낮은 비저항이고 화강암은 높은 비저항을 보여 현무암 하부층에 투수성 대수층이 존재하고 있는 것으로 보인다. 관인 취수장 유출량을 고려할 때 함양지역 면적은 최소 5.7km²로 산정되었으며, 철원평야 일원에서 함양된 지하수가 대수층을 따라 흐르다 취수장 인근의 현무암과 화강암 부정합면을 따라 유출되는 것으로 추정되었다. 수리지구화학 조사 결과 관인취수장 용천수는 현무암대수층 지하수와 유사하고, SiO₂, Mg, NO₃, SO₄를 포함하는 주요 용존 화학성분의 시기적 농도 변동도 취수장 용천수는 현무암대수층에서 유래되었음이 밝혀졌다. 결론적으로 수리지질학적 및 수리지구화학적 특성으로 볼 때 관인취수장 용천수는 하천수나 저수지수는 아니고 현무암대수층 지하수와 동일한 것으로 추정되었다.

주요어 : 지하수, 상수원, 수리지질, 수리지구화학, 전기저항탐사, 현무암대수층

Abstract : The section from water source to 2.6km upper stream of Hantan River is protected as the drinking water quality protection area according to guidelines of Ministry of Environment, because water source of the Gwanin water intake plant has been known the river. However,

First Author : Bok Su Shin, Department of Environmental Engineering, Kwangwoon University, Tel: +82-10-9900-5962, E-mail: shinbs1004@gmail.com

Corresponding Author : Bok Su Shin, Department of Environmental Engineering, Kwangwoon University, Tel: +82-10-9900-5962, E-mail: shinbs1004@gmail.com

Co-Authors : Yoon-Young Chang, Department of Environmental Engineering, Kwangwoon University, E-mail: yychang@kw.ac.kr
Dong-Chan Koh, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, E-mail: chankoh@kigam.re.kr

Received : 6 May, 2016. Revised : 24 May, 2016. Accepted : 27 May, 2016.

opinions were consistently brought up that the standard of water source protection zone must be changed with using underground water as water source because of contribution possibility of underground water as the water source of Gwanin water intake facility. In this regard, hydrogeologic investigation including resistivity survey and hydrogeochemical investigation were carried out to assess water source and infiltration of contaminant for the plant. Quaternary basaltic rocks (50m thick with four layers) covered most of the study area on the granite basement. As the result of the resistivity survey, it is revealed that permeable aquifer is distributed in the boundary of two layers: the basaltic layer with low resistivity; and the granite with high resistivity. Considering of outflow from Gwanin water intake facility, the area possessing underground water was estimated at least 5.7km². The underground water recharged from Cheorwon plain was presumed to outflow along the surface of unconformity plane of basalt and granite. Based on field parameters and major dissolved constituents, groundwater and river water clearly distinguished and the spring water was similar to groundwater from the basaltic aquifer. Temporal variation of SiO₂, Mg, NO₃, and SO₄ concentrations indicated that spring water and nearby groundwater were originated from the basaltic aquifer and other groundwater from granitic aquifer. In conclusion, the spring of the Gwanin water intake plant was distinguished from river water in terms of hydrogeochemical characteristics and mainly contributed from the basaltic aquifer.

Keywords : Groundwater, Drinking water source, Hydrogeologic, Hydrogeochemistry, Resistivity survey, Basaltic aquifer

I. 서론

포천시는 1983년에 포천시 관인면 냉정리의 한탄강변에 하루 1,700m³를 취수하기 위하여 관인취수장을 건설했다. 이 물은 관인면 일원의 주민에게 생활용수로 공급되고 있다. 포천시는 1992년에 「수도법 제7조(상수원보호구역 지정 등)」에 따라 관인취수장에서 취수하는 물의 수질을 보호하기 위하여 하천수를 기준으로 취수원 지점부터 한탄강 상류 북쪽 철원군과의 군 경계까지 포천군 지역의 0.332km²를 포천상수원 보호구역으로 지정했다. 포천상수원 보호구역 지정으로 인하여 철원군의 일부지역은 지역개발에 제한을 받고 있어, 철원군과 포천시 간에 포천상수원 보호구역 지정에 대한 논란이 있어왔다. 그 이유는 국내 상수원 보호구역의 지정 범위는 취수원 별로 다르고 각종 행위제한구역의 범위도 다르기 때문이다. 즉 상수원 보호구역 지정 범위기준은 취수원이 하천수인 경우 취수지점으로부터 상류 4km 그리고 지하수인 경우는 취수지점으로부터 반경 20~200m를 기준으로 정하고 있고, 상류지역의 개발행위 제한지역은 상수원 보호구역 경계로부터 하천수

인 경우 상류 10~20km 이내 지역 그리고 지하수인 경우 1km 이내 지역이기 때문이다. 따라서 관인취수장에서 취수하는 한탄강 변에 용출되는 물의 기원이 하천수인지 지하수인지에 대한 논란이 지속적으로 제기되어 이에 대한 조사·연구가 필요하였다. 국내 대수층은 하천변의 충적층, 카르스트가 발달한 석회암층, 제4기 현무암을 제외하면 대부분 지하수 산출성이 낮은 결정질암 대수층이 대부분을 차지한다. 상대적으로 지하수 산출성이 우수한 제4기 현무암 대수층은 제주도에 대규모로 분포하며 많은 연구가 수행된 바 있다(Hahn et al. 1997; Woo et al. 2001; Won et al. 2006; Koh et al. 2006). 육지지역에는 현무암 대수층이 연천, 철원 등에 비교적 큰 규모로 분포하고 있으며, 이 지역의 지질과 지형특성에 대해서는 일부 연구가 진행되었으나(Lee et al. 1992; Song & Shin 1998), 지하수에 관련된 연구는 거의 진행되지 않았다. 수리지구화학 인자 중 주요 양이온과 음이온에 대한 조사를 통해 수질 유형을 분류하고 개별 성분의 농도 등을 평가하여 지하수의 물 순환 특성에 대한 규명이 가능(Koh et al. 2007)한 것으

로 알려지고 있는데 이는 일반적으로 지표수와 지하수는 수리지구화학과 동위원소 특성이 시간적, 공간적으로 상이한 경우가 많으므로 이러한 특성을 이용하여 지표수와 지하수의 상호작용을 정성 및 정량적으로 평가할 수 있기 때문이다. 수리지구화학적 기법을 사용한 하천수-지하수 상호작용과 관련된 국내 연구사례를 살펴보면, 강변여과에 따른 지하수와 하천수 상호작용에 대한 연구(Kim et al, 2003; Kim et al, 2011)와 하천에 대한 지하수 유출연구(Yun et al, 2015) 등이 있다. 이 연구의 목적은 한탄강변 현무암층에서 용출되는 관인취수장 용천수를 중심으로 이와 연관된 대수층을 수리지질 현장조사와 물리탐사를 이용하여 특성화하고, 용천수 및 주변지하수의 수리지구화학 인자 특성을 조사하여 관인취수장 취수원의 기원을 평가하는 것이다.

II. 연구 지역

1. 일반 현황

연구 지역은 행정구역상 포천시 관인면 냉정리 일원으로, 경기도 포천시의 최북단에 위치하고 북쪽의 대교천 및 동쪽의 한탄강을 경계로 강원도 철원군과 마주보고 있다. 북동쪽으로는 강원도 철원군 김화읍이, 북서쪽으로는 동송읍내, 남쪽에는 신철원이 위치하고 있다. 산계의 발달은 대보조산운동의 방향을 따라 뚜렷한 남-북의 방향성을 보이며 수계는 산계에 연하여 유사한 방향을 보인다. 북에서 남으로 유하하는 한탄강과 철원평야 중앙부를 가로지르며 북서-동남향 대교천이 고석정 인근에서 합류한다. 수계는 과거 신생대 4기 분출화산암을 깊게 침식하여 협곡을 이루고 있다. 연구지역의 고도분포는 최대 177.14m

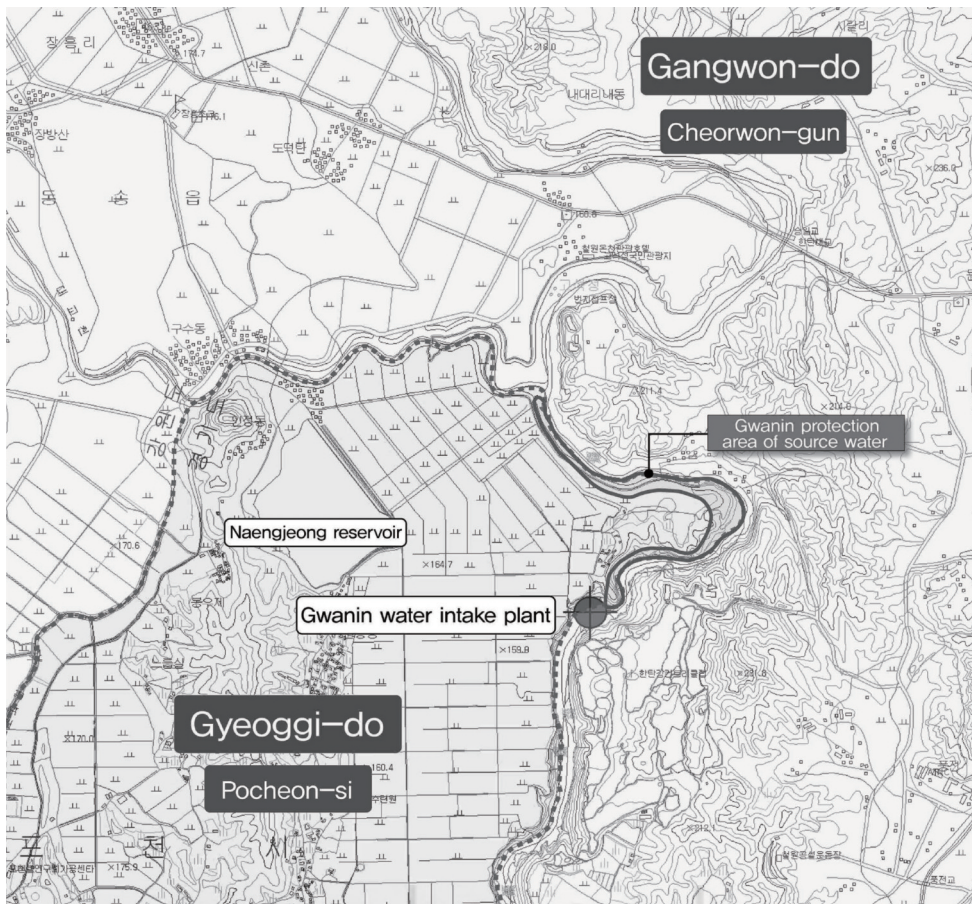


Figure 1. Location map of Gwanin water intake plant protection area of source water in Pocheon-si

에서 최소 157.70m로 나타났다. 서북쪽의 표고가 가장 높게 나타났고 남동쪽이 가장 낮게 나타났으며 지형경사방향은 북서-남동방향이며 평균경사는 약 0.54%이다. 관인취수장 인근은 약 20개의 지하수 이용시설을 개발하여 용수로 이용하고 있는 것으로 확인되었으며, 전체 지하수 이용시설 중 포천시에는 5개소가 위치하고 철원군에는 15개소가 위치하고 있는 것으로 조사되었다. 용도별로는 생활용 6개소, 농업용 13개소, 기타용 1개소로 생활용은 주로 가정에서 사용하고 있으며, 농업용은 경작에 주로 이용하는 것으로 조사되었다.

2. 지질 및 수리지질 특성

연구 지역은 소위 '임진강대'라 불리는 추가령단층대에 위치하며 대보관입화성암, 불국사관입화성암 등 다양한 중생대 관입 화성암체들이 기반암으로 분포하고 있으며 제4기에 현무암이 저곡부를 충전하였으며 충적층이 지표를 피복하고 있다(Korea Institute of Geoscience And Mineral Resources 2007). 추가령단층대는 지질학적인 측면에서 한반도를 남북으로 나누는 중요한 구조선으로 북북동-남남서의 주향으로 원산에서 서울까지 연장되며 주향이동성 단층으로 최소 4회의 지괴운동을 하여 철원평야 형성에 기여하였으며, 백악기 이후 지속적으로 단층운동은 재발하였고 제4기 단층대를 따라 5~15만년에 걸쳐 현

무암이 분출하였다. 연구지역 인근에 분포하는 지질은 백악기 명성산화강암이 기반암으로 분포하고 있으며 제4기에 분출된 현무암이 고수로 및 저지대를 따라 충전한 후 침식작용이 일어나 현재의 특이지형을 이루고 있다(Figure 2). 제4기 현무암은 한탄강을 따라서 분포하며, 화산활동의 기원은 추가령 단층대라 불리는 정단층들로 이루어지는 지구대의 발달과 연관된 것으로 제시되었다. 분출의 형태는 열극분출에서 후기에 중앙분출의 형태로 이화되어간 것으로 해석되고 있다. 상류에서는 최소 11회의 분출이 있는 것으로 보고(Won 1983)되었다. 현무암은 암회색을 띠며 다공질로 치밀하며 괴상이다. 현무암은 현미경 하에서 사장석, 감람석, 휘석 등이 관찰되며, 사장석-휘석-감람석 삼각도에 따르면 감람석 현무암 영역 내에 속한다(Lee et al. 1983; Won 1983). 현무암의 화학분석 결과에 의하면 이 지역의 현무암은 대륙지판 내부의 열곡대에서 산출되는 알칼리암으로서 알칼리계열의 특징을 나타냄이 보고되었다(Yang 1982; Lee et al. 1983; Won 1983).

3. 토지 이용

연구지역은 철원평야로 대규모 쌀농사를 짓고 있으며 퇴비 및 비료살포에 의한 비점오염원이 광범위하게 분포하고 있다. 그 외 잠재오염원은 양계장, 축사, 액체비료 저장소, 주유시설 및 정비소등이 산발

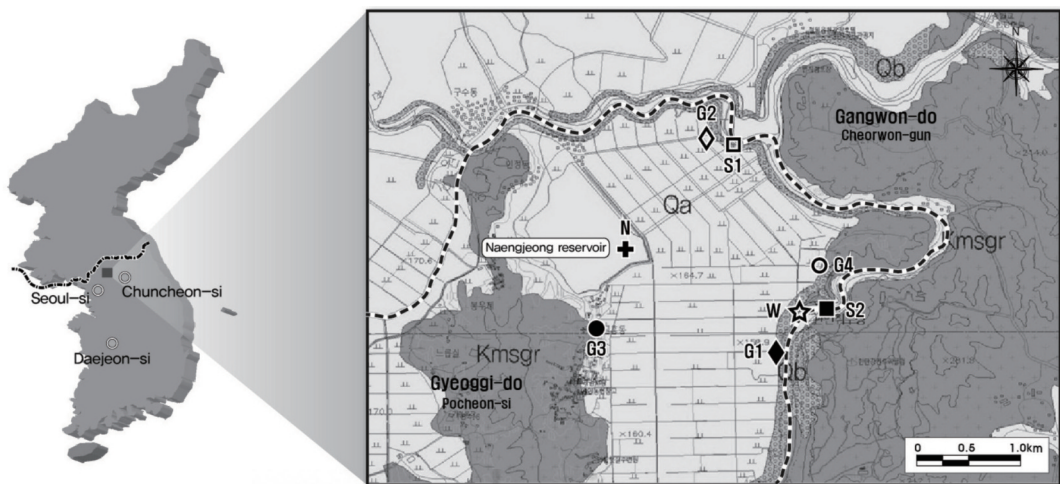


Figure 2. Location map of geological distribution and groundwater sampling in research area

적으로 분포하고 있다. 측사는 한우 약 3~100두를 사육하고 있으며 가축분뇨는 「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률」에 따라 퇴비화 및 액비화 하여 처리하고 있다. 양계장은 철원군 동송읍에 1개소 있는 것으로 조사되었으며 약 30,000두를 사육하고 있다.

III. 연구 방법

1. 수리지질조사 및 물리탐사

조사대상지역은 군사분계선 인근에 위치한 지리적 조건으로 국립지리원에서 발간하는 수치지형도 도엽의 최대 축척은 1:25,000이어서 정밀하게 수치화된 자료의 취득에 한계가 존재하므로 보다 정밀한 분석을 위하여 지형 표고측량을 수행하였다. 조사대상지역의 지하수위의 분포특성을 분석하는데 활용하기 위하여 대교천, 한탄강 및 주변 지하수의 수위를 측정하였다. 수위 측정은 대교천 6개 지점, 한탄강 8개 지점, 냉정저수지 1개 지점 그리고 인근 지하수 15개 지점에 대하여 실시하였다. 관인취수장 용천수(W)의 유출량 조사는 관인취수장 운영자료와 현지 유량 조사를 실시하였다. 지질조사는 관인취수장, 한탄강 및 대교천 일원에 대하여 현지탐사를 실시하였고, 관인취수장 인근에 전기비저항탐사를 실시하였다. 전기비저항탐사는 수평탐사 방법인 쌍극자 배열법

(Dipole-Dipole array)과 병행하여 수직탐사 방법인 쉘럼버저 배열법(Schlumberger array)을 수행하였다(Figure 3). 수평탐사의 경우 쌍극자배열 측선은 200m길이의 2 측선을 기본으로 중첩·연장하여 실시하였고, 전극간격을 20m로 배열하여 심도 100m까지의 변화양상을 볼 수 있도록 하였으며, 주입전류의 크기를 최소 20mA이상 주어 S/N비를 향상시켰다. 수직탐사의 경우 3곳을 선정하여 조사하였다. 지하수 함양량 산정을 위한 지하수 함양율은 통계자료에 의한 방법 및 「지하수 관리기본계획, 2007년, 국토교통부」에 대하여 검토하여 산정하였다.

2. 수리지구화학 조사

조사지점은 관인취수장 용천수(W)와 인근지역의 지하수와 지표수를 포함하여 총 8개 지점을 선정하였다(Figure 2). 관인취수장 주변의 현무암대수층은 지하수 심도가 전반적으로 낮아 전형적인 천부관정은 존재하지 않아 암반관정만을 조사지점으로 선정하였고, 지표수의 영향을 평가하기 위해 취수장 상류부의 대교천과 취수장 인근의 한탄강, 그리고 냉정저수지에서 지표수를 채취하였다(Table 1). 조사는 2014년 3월부터 8월까지 선정된 지점에 대해 매월 실시하였으며, 강우의 영향을 고려하기 위해 추가 조

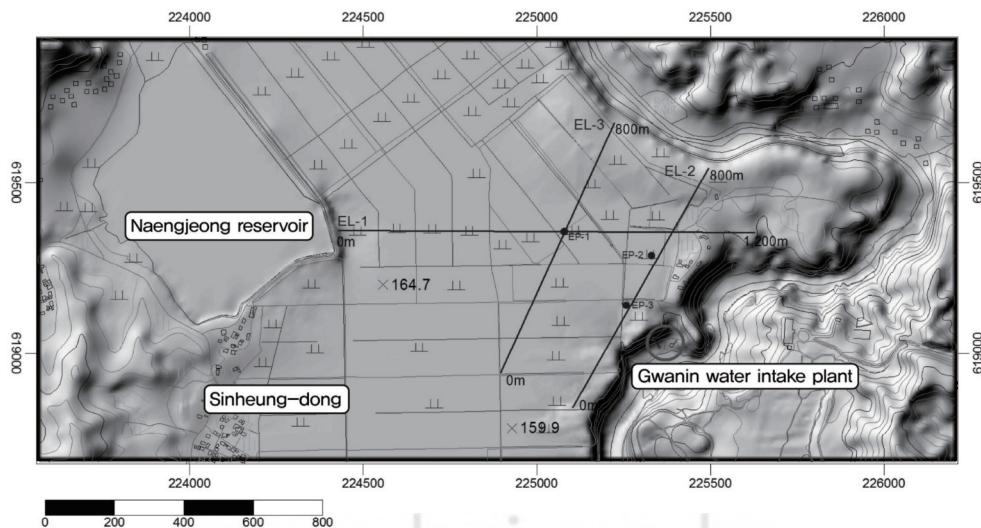


Figure 3. Location map of resistivity survey

Table 1. Characteristics of research area

type	Site	Height (m asl)	Depth of wells (m)	Depth of groundwater (m)	purpose
Spring water	W	108.13	-	-	drinking water
well	G1	160.18	100	43.80	Domestic
	G2	168.05	100	> 42.2	Farming
	G3	168.22	100	21.48	Living
	G4	-	-	-	Living
stream water	S1	121.53	-	-	-
	S2	108.02	-	-	-
reservoir	N	169.35	-	-	irrigation

사를 실시하였다. 시료채취 시 관인취수장 용천수는 취수탑내의 출수구에서 지하수는 관정에 설치된 펌프를 이용하였고, 하천수 및 저수지는 표층에서 채수하였다. 온도, pH, 전기전도도(electrical conductivity, EC), 용존 산소(dissolved oxygen, DO) 등의 현장수질 항목을 지하수가 유동하는 상태에서 측정하였고, 현장 수질 항목들이 모두 안정된 후에 시료 채취를 실시하였다. 알칼리도(Alkalinity) 적정을 위한 시료는 전처리를 하지 않고 빈 공간 없이 채취하였으며, 주요 화학 성분 분석을 위한 시료는 0.45 μ m 막 필터(cellulose nitrate membrane)로 여과하였으며, 양이온 분석용 시료는 진한 질산(GR grade, Merck)으로 산처리하였다.

3. 주성분 화학분석

알칼리도(Alkalinity)는 실내에서 자동 적정기(T50, Mettler Toledo)를 이용하여 pH 4.5까지 소비된 표준산의 양을 이용하여 total alkalinity로서 측정하였다. 음이온은 IonPac AS14 (4mm) column과 1.0mM Na₂CO₃/3.5mM NaHCO₃ eluent를 1.2 mL/min의 flow rate으로 사용하는 전기전도도 검출-이온 교환 크로마토그래피 시스템(Ion exchange chromatography with conductivity detection, ICS-1500, Dionex)을 이용하여 분석하였다. 양이온은 유도결합플라즈마 원자발광광도계(Inductively-Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry; Optima 7300 DV ICP-OES Spectrometer, Perkin Elmer)을 이용하여 측정하였다. 표준시료 조제와 시료희석은 2% HNO₃을 사용하여 실시하였다. 분석용

액 주입은 1.5mL/min로 하였으며, 플라즈마 형성을 위한 아르곤기체는 액체아르곤으로부터 100 psi 압력에서 15L/min로 공급하였다. 음이온과 양이온 측정의 분석오차는 상대표준편차로서 5%이내이다. 분석된 이온 농도를 기준으로 계산한 전하균형오차(Charge balance error; CBE)는 5%이내였다.

IV. 결과 및 토의

1. 지질조사

연구지역의 기저를 이루는 암반으로 백악기 불국사관입화성암의 대표적인 암상이며, 조립질 암상으로 유백색을 띠고 있다. 연구지역 내 화강암의 뚜렷한 절리면의 주향은 $\pm 10^\circ$ N방향으로 경사는 20° W이며 연속적으로 화강암체의 상부에 화강암의 풍화 잔류토가 분포하고 그 위에 현무암이 분포하고 있다. 한편, 대한수련원 인근에서는 화강암에 약 30~50m의 폭을 가진 40° NE / 80° NW의 구조대가 수련원 뒤편까지 연장되어 있다. 제4기 현무암은 기반암인 명성산 화강암의 상부를 흘러 퇴적된 염기성 화산암으로 한탄강을 따라 노두가 관찰되며 큰 협곡을 이루고 있다. 연구지역 내 현무암은 총 4매가 관찰되었고 각각의 층 두께는 약 10~13m로 전체 두께는 약 50m로 조사되었다. 각 매는 각기 다른 특징을 가지고 있으며 현무암의 화학적 조성 및 분출당시의 상황을 보여주고 있다.

2. 전기비저항탐사

EL-1, EL-2, EL-3에 대한 수평탐사결과 표토

층, 저투수성대수층, 투수성 대수층의 세 지층이 구분되었다(Figure 4). EL-1에 대한 결과는 대체적으로 표토층이 낮게 나타나며 저투수성 현무암 하부에 투수성 지하수부존대가 나타난다. 우측의 고비저항은 암종변화로 해석되며 좌측은 냉정저수지부근 기저암반으로 해석된다. 탐사 분석결과 비저항의 분포는 4~10,775ohm-m의 비저항값을 보인다. EL-2에 대한 결과에서는 좌측부의 고비저항대는 지질도상 다른 암종이 근처에 분포하는 지역으로 저투수성 암반이 존재할 것으로 해석된다. 탐사 분석결과 비저항의 분포는 15~6,987ohm-m의 비저항값을 보인다. EL-3에 대한 결과는 전반적으로 지층의 구분이 잘 나타나며 우측은 한탄강과 인접하고 있다. 저투수성 현무암층내에 존재하는 저 비저항은 현무암내에

나타나는 주상절리가 발달된 지역으로, 천부지하수가 심부로 연결되는 양상을 보인다. 탐사 분석결과 비저항의 분포는 25~17,024ohm-m의 비저항값을 보인다.

EP-1, EP-2, EP-3에 대한 수직탐사 결과에서는 상부 표토층, 상부 풍화대층, 기반암 층인 현무암과 기저암반인 화강암류로 추정되는 층이 나타났으며, 대체로 수평탐사결과와 일치하였다(Figure 5). 최상부의 경우 지하수위 상부의 전답으로 이용되고 있으며 평균두께는 2.5m이며 비저항은 약 52ohm-m으로 표토층으로 추정된다. 표토층 하부 층은 약 3.7m의 두께를 보이고 평균심도는 6.2m까지 분포하고 있으며 평균비저항은 약 716ohm-m으로 풍화대층으로 추정된다. 풍화대층 하부 층은 23.7m의 두께를

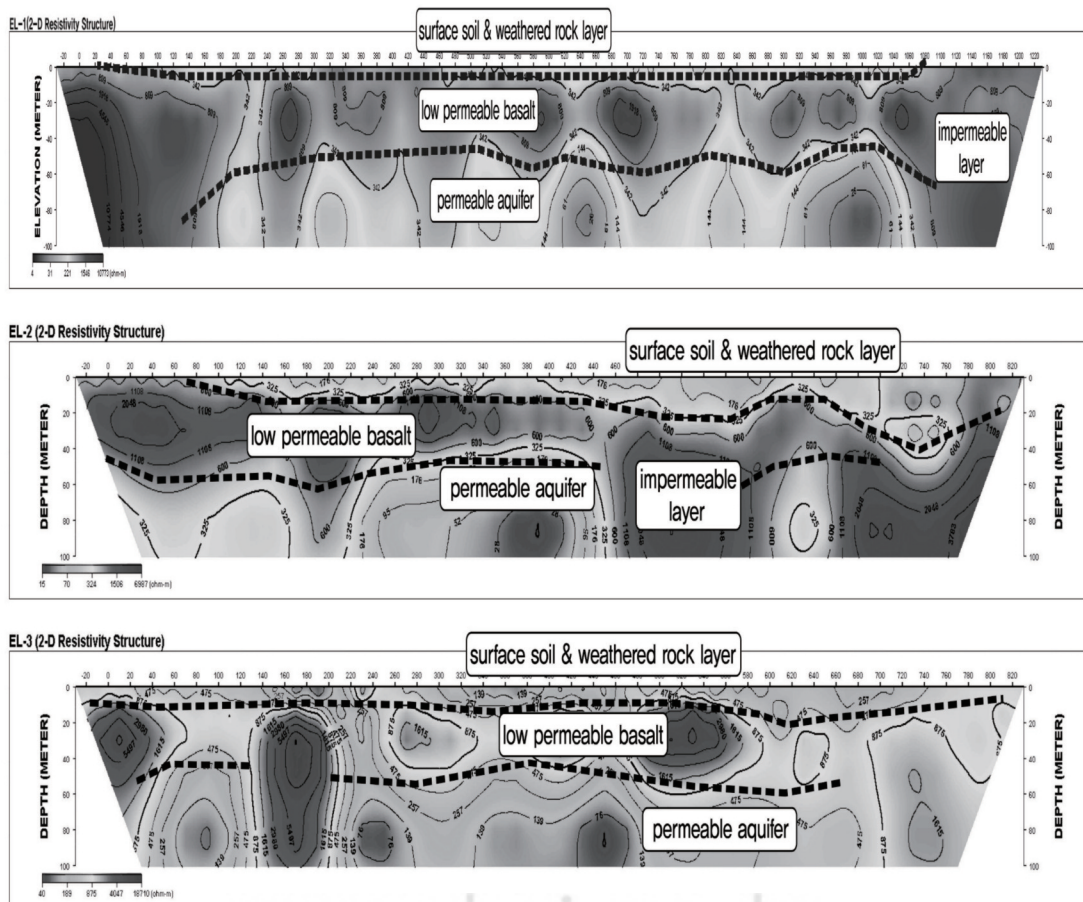


Figure 4. The results of horizontal resistivity survey(EL-1, EL-2, EL-3)

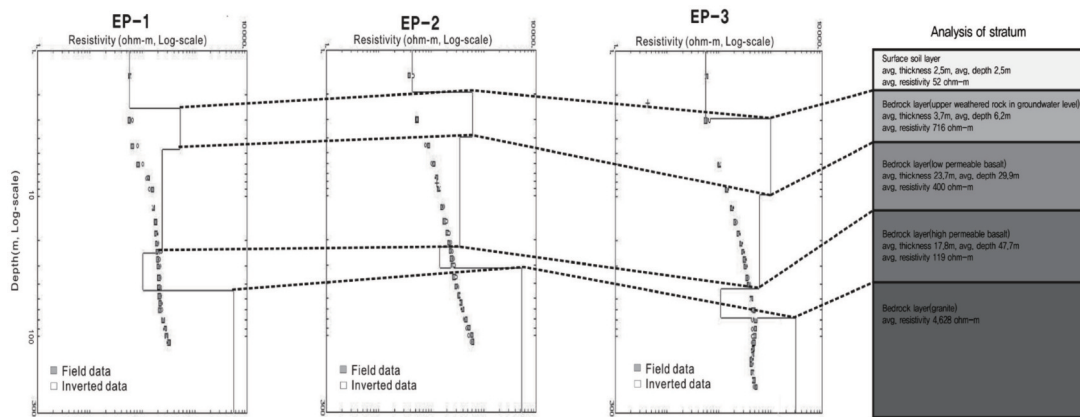


Figure 5. The results of vertical resistivity survey(EP-1, EP-2, EP3)

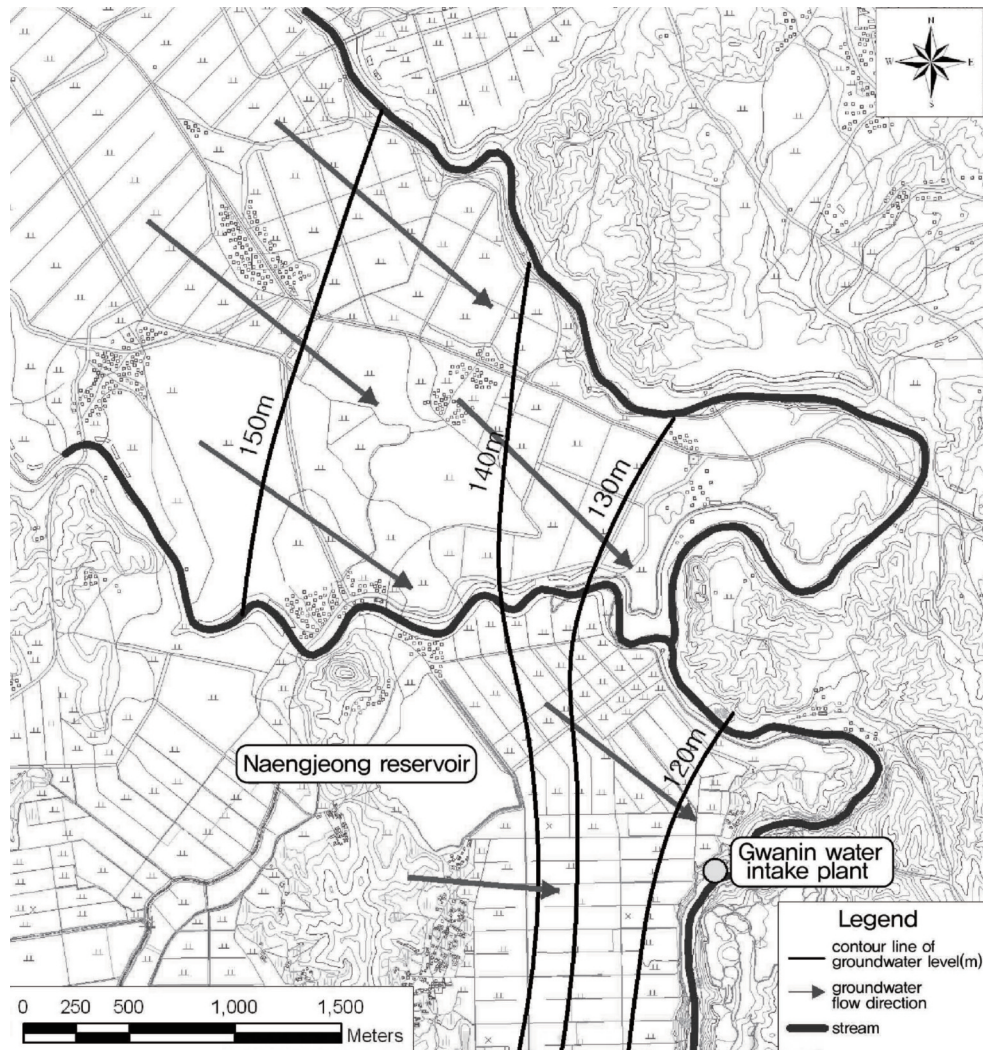


Figure 6. The Contour line of groundwater level

보이고 평균심도는 29.9m까지 분포하고 있으며, 평균비저항은 약 400ohm-m으로 기반암층으로 저투수성 현무암으로 추정되었다. 저투수성 현무암 하부층의 경우 약 17.8m의 두께를 보이고 평균심도는 47.7m까지 분포하고 있으며, 평균비저항은 약 119ohm-m으로 낮은 비저항으로 볼 때 투수성 지층으로 구분할 수 있는 저투수성 현무암으로 추정되었다. 최 하부 층의 경우 평균비저항은 약 4,628ohm-m으로 기반암층으로 기저암반인 화강암류로 추정되었다. 수평 및 수직 전기비저항탐사 결과를 종합하면, 심도 30m까지는 저투수성 현무암층이 분포하고, 심도 30 - 50m에는 고투수성 현무암층이 분포하며 그 하부에는 기반암층인 화강암류가 확인되었다.

3. 지하수 수위 및 취수장 용천수 유출 특성

지하수 수위 측정결과를 기초로 지하수 수위 등수위선도를 작성하였다. 이에 따르면 현무암질 대수층 내 지하수의 주 흐름방향이 북서에서 동~동남방향으로 유동하는 것으로 추정되며, 한탄강과 근접한 위치에 도달하면서 용출한 것이 관인취수장의 취수원이 된 것으로 판단된다(Figure 6).

관인취수장 용천수 유출지점은 현무암과 화강암의 접촉부에 위치하며 현무암 제4층인 주상절리 노두에서 용천수의 유출을 확인하였다. 즉, 관인취수장의 취수원은 상부현무암 대수층과 하부 화강암층의 저투수층에 의한 접촉용천에 해당한다. 관인취수장 취수원 지점에서 용출되는 유량은 관인취수장의 취수량과 한탄강으로 유출되는 양의 합으로 추정할 수 있다. 관인취수장의 취수원에서 취수량은 1,721m³/d이고, 취수되지 않고 유출되는 양은 1,474m³/d로 전체 유량은 3,195m³/d로 추정되었다. 관인취수장 취수원의 전체 유량 3,195m³/d를 지하수로 가정할 경우 필요한 지하수 함양지의 면적은 약 5.7km²로 추정되었다.

4. 수리지구화학 인자 특성

EC는 조사기간 동안 평균적으로 하천수와 지하수 모두 100 - 200 uS/cm 범위의 상대적으로 낮은 수준을 보였으며, 저수지의 경우는 108 uS/cm 정도의

가장 낮은 수준이었다. 조사지역 지하수의 EC 수준은 우리나라의 일반적인 천부 및 암반지하수의 평균인 498 uS/cm(<https://www.gims.go.kr/>)보다는 상대적으로 작다. EC의 시기적 변동성을 보면 하천수는 강수량이 적은 봄철에는 EC가 상승하고 강수량이 증가하는 여름으로 가면서 감소하는 등 변동성이 크나 관인 용천수와 지하수는 일정하였다.

DO는 모든 지점에서 평균적으로 높은 수준으로 호기성 환경을 지시하였으며, 용천수와 지하수의 변동성이 상대적으로 작았다. 지하수의 경우 비교적 DO가 높은 수준을 보이는 것은 조사지역이 대부분 절리가 발달한 현무암층으로 덮혀 있어 토양층이 얇고 강수의 침투속도가 빠르기 때문인 것으로 추정된다. 이러한 특징은 유사한 지질을 가지는 제주도 지역에서 상당수 관정들이 300m이상의 심도에서도 DO가 높은 수준으로 나타나는 것과 연관 지어 볼 수 있다(Koh et al, 2006). 관인 용천수는 지하수에 비해 약간 높은 DO값을 보여주는데 이는 용출지점부근에서 지표 대기와의 접촉으로 인해 DO가 높아진 것으로 추정된다. 현장 수질 인자를 기준으로 볼 때 관인 용천수는 관인취수장 및 대교천 인근 지하수와 유사한 특성을 보였다.

주요이온에 근거한 수질유형은 대체로 Ca-HCO₃ 유형으로서 우리나라의 전형적인 결정질암 대수층의 천부지하수 수질특성을 보여주었다. 부수적 이온조

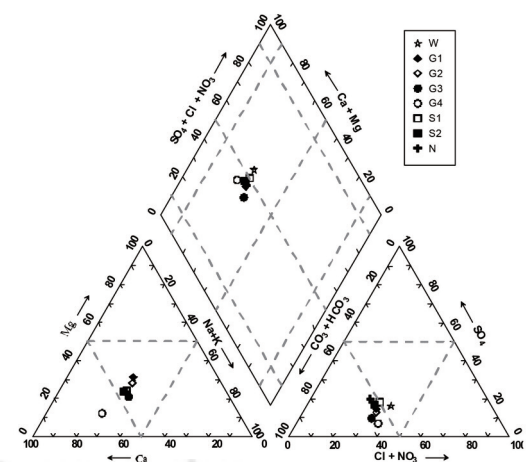
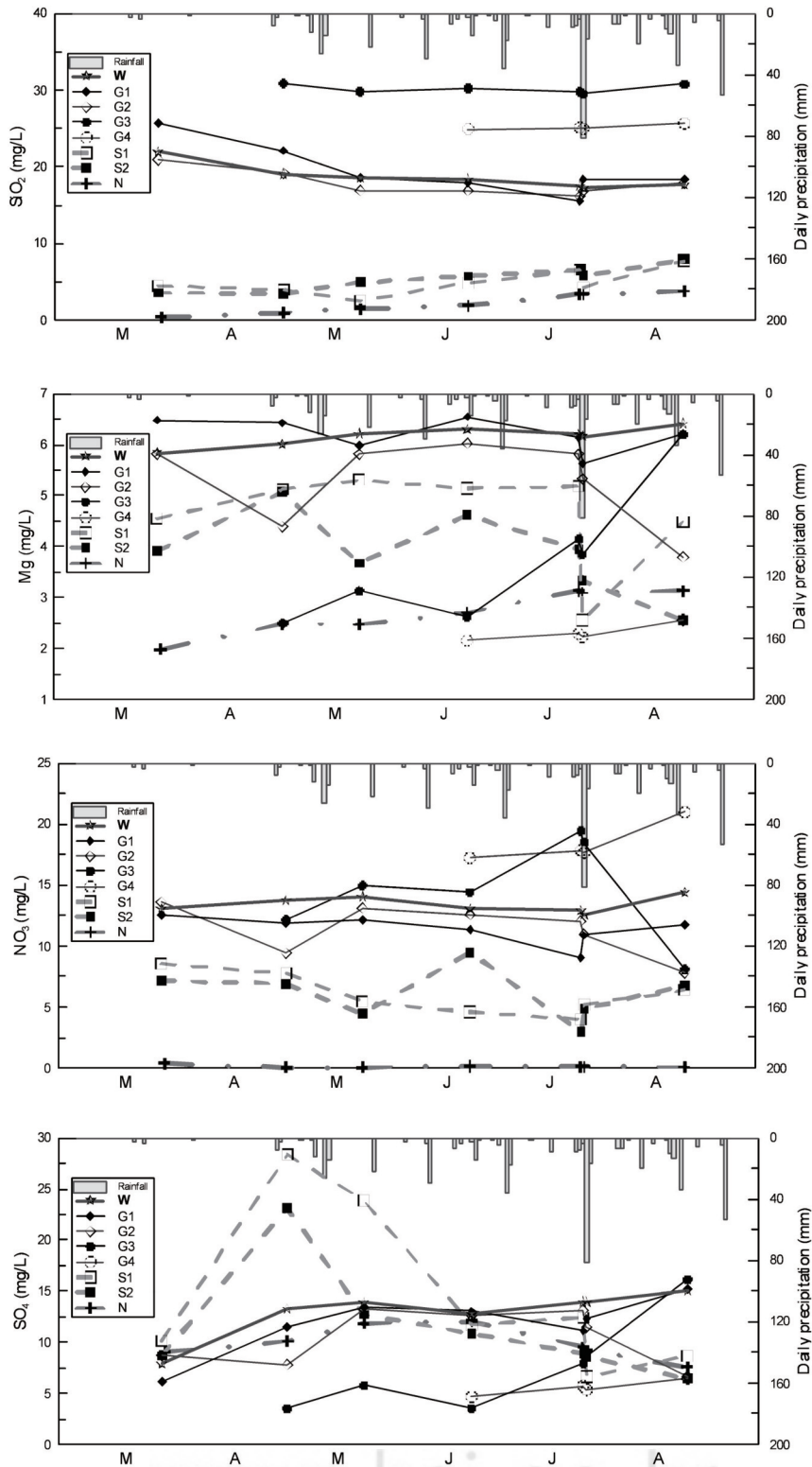


Figure 7. Water quality types by major ion

Figure 8. The monthly change of major solute concentration(SiO₂, Mg, NO₃, SO₄)

성을 보면 지점별로 다소 차이를 보이나 W(관인취수장 용천수), G1(관인취수장 인근 지하수), G2(대교천 인근 지하수)와 하천수는 대체로 $\text{Ca}(\text{Mg})-\text{HCO}_3$ 유형을 보이는 반면 G3(냉정저수지 인근 지하수), G4(한탄강 인근 지하수)와 N(냉정저수지)는 $\text{Ca}(\text{Na})-\text{HCO}_3$ 또는 $\text{Ca}-\text{HCO}_3$ 유형을 보였다(Figure 7). 관인취수장 용천수는 관인취수장 및 대교천 인근 지하수와 가장 유사하며 특히 양이온 조성 특징은 상당히 중첩되어, 나머지 시료들과는 구분되었고 시기적으로 용천수의 조성 변동폭은 지표수에 비해 작았으며, 지하수와 비교해도 작은 수준이었다. 이러한 특징은 용천수의 수질유형이 시기적으로 일정함을 보여주며, 관인취수장 및 대교천 인근 지하수와 중첩되는 것은 이들과 동일한 물 공급원에서 유래함을 보여주고 하천이나 저수지와는 수질적 연관성이 작음을 보여준다. 저수지의 경우는 EC가 낮으면서 음이온에서 Cl의 비중이 높는데, 일반적으로 강수 또는 직접유출수가 이러한 특징을 가지므로, 이의 영향을 크게 받은 것으로 보이며 지하수 및 하천수와 구분되는 특징을 보였다. 양이온에서는 전반적으로 Mg의 함량이 화강암 및 편마암 지역 지하수보다 상대적으로 높아 현무암질 암석과의 반응이 수리지구화학 특성에 영향을 주고 있음을 보여주었다.

5. 주요 용질의 시기적 변동 특성

조사된 시료간의 수리지구화학적 구분을 위해 분석된 용존 성분 중 지표수와 지하수간의 차이가 크고, 지하수 중에서는 대수층 특성에 따라 영향을 받을 수 있는 주요 용질을 선정하여 농도의 월간 변화를 평가하였다.

용질은 기원에 따라 크게 두 그룹으로 분류하여 물-암석 반응 기원인 SiO_2 와 Mg 그리고 지표환경 기원인 NO_3^- 와 SO_4^{2-} 를 선정하였다(Figure 8).

SiO_2 는 일반적으로 하천수 등 지표수에서는 농도가 낮고 지하수에서는 심도와 유동규모가 증가함에 따라 농도가 증가하여 수문 요소 간 비교에 유용하다. 관인취수장 용천수는 중간수준으로 관인취수장 및 대교천 인근 지하수(G1, G2)와 유사하였고, 냉정저수지 및 한탄강 인근 지하수(G3, G4)는 가장 높은

수준을 보였으며, 하천수와 저수지는 낮은 농도로 조사되어 관인취수장 용천수, 관인취수장 및 대교천 인근 지하수(G1, G2)는 유사한 지질을 기반으로 한다고 보인다.

마그네슘염이온(Mg)은 현무암질암내 함량은 높고 화강암질암내 함량은 낮아 대수층 구분에 활용가능하다. 관인취수장 용천수(W), 관인취수장 및 대교천 인근 지하수(G1, G2)는 가장 높은 농도를 보였고, 냉정저수지 및 한탄강 인근 지하수(G3, G4)는 가장 낮은 수준을 보여 대수층의 화학조성이 반영된 것으로 추정된다. 즉, 전자(W, G1, G2)는 현무암질, 후자(G3, G4)는 화강암질 대수층에서 유래되었다고 볼 수 있으므로 이를 근거로 관인취수장 용천수는 현무암질 대수층과의 반응이 중간정도로 관인취수장 및 대교천 인근 지하수(G1, G2)와 같이 현무암질대수층에서 유래됨을 보여준다. 질산이온(NO_3^-)은 경작지, 생활하수 등에 의한 오염여부를 보여준다고 할 수 있으며, 통상적으로 지하수가 지표수에 비해 높게 나타난다. 농도는 G3(냉정저수지 인근 지하수), G4(한탄강 인근 지하수) > W(관인취수장 용천수), G1(관인취수장 인근 지하수), G2(대교천 인근 지하수) > S1(대교천 본류), S2(한탄강 하류), > N(냉정저수지)의 순으로 조사되었다. 관인취수장 용천수는 관인취수장 및 대교천 인근 지하수와 유사한 농도 수준을 보이며 변동 폭이 작아 동일한 오염원을 가진 물공급원이 존재함을 의미한다.

황산이온(SO_4^{2-})은 하천수의 경우 4월에 황사 등 대기 침적물에 의해 일시적으로 높은 농도를 보였으나 지하수는 대체로 일정한 농도를 보였다. 이러한 특성은 비료 등 농업활동에 의한 오염원 및 대기기원 유래 물질 측면에서 관인취수장 용천수가 하천수와는 연관성이 적고 관인취수장 및 대교천 인근 지하수와 유사함을 보여준다.

V. 결론

관인취수장 및 인근지역은 추가령 단층대에 위치하며 명성산 화강암을 기반암으로 그 상부에 제4기 현무암이 저곡부를 충전한 특이 지질로 화강암 상부

의 현무암은 총 4매로 이루어졌고 각각의 층은 약 10~13m로 전체는 약 50m의 두께를 보이고 있다. 전기비저항탐사 결과, 저투수성 현무암층의 평균 비저항은 약 400ohm-m이고 화강암의 평균비저항은 약 4,630ohm-m으로 고비저항을 보이고 있으며, 저투수성 현무암층과 화강암의 경계부에 평균비저항 약 119ohm-m인 고투수성 대수층이 분포하고 있는 것으로 해석되었다. 관인취수장 취수원의 용출량은 약 3,195m³/d로 이를 공급하기 위한 지하수 함양 지역은 관인취수장 상류인 철원평야 일원으로 최소 5.7km²의 면적이 필요한 것으로 추정되었다. 따라서 철원평야 일원에서 함양된 지하수가 관인취수장 인근 투수성 대수층을 따라 북서에서 동~동남방향으로 흐르다 관인취수장 인근의 현무암과 화강암의 부정합면을 따라 용출되는 것으로 판단되었다. 현장수질항목, 수질유형과 주요 성분 농도의 시간적, 공간적 변동성 측면에서 지표수(하천수, 저수지)와 지하수는 명확히 구분되었고, 관인취수장 용천수는 지하수 중에서 현무암질대수층 지하수와 가장 유사하나 화강암질대수층 지하수와는 다소 차이를 보였다. SiO₂와 Mg 농도의 시기적 변동은 관인취수장 용천수, 관인취수장 및 대교천 인근 지하수는 조사지역의 저지대를 채우고 있는 제4기 현무암대수층에서 유래된 지하수로 볼 수 있으며, 냉정저수지 인근 지하수는 지하수 유동 방향으로 볼 때 서측 백악기화강암체 영향을 받은 지하수이고, 한탄강 인근 지하수는 백악기화강암 및 제4기현무암 경계지역에 위치하나 동측 화강암체의 영향을 받은 지하수라고 판단되었다. 또한 NO₃⁻와 SO₄²⁻ 농도의 시기적 변동은 관인취수장 용천수가 하천수와는 연관성이 적고 관인취수장 및 대교천 인근 지하수와 유사함을 보여주었다. 따라서 관인취수장 용천수는 하천수 및 저수지수와는 수질 측면에서 확연히 구분되고 지하수 중에서는 현무암질대수층 지하수와 동일기원으로 판단된다.

References

- Yang KS. 1982. A study on volcanic rocks of downstream area of the Hantan River in Choogaryong rift valley. J Korean E.S.E.A. 3(1): 13-25. [Korean Literature]
- Lee DS, Ryu kJ, Kim GH. 1983. Geotectonic Interpretation of Choogaryong Rift Valley, Korea. J Geological Society of Korea. 19(1): 19-38. [Korean Literature]
- Won JK. 1983. A Study on the Quarternary Volcanism in the Korean Peninsula, Korea. J Geological Society of Korea. 19(3): 159-168. [Korean Literature]
- Lee HH, Han U, Kim DJ, Kim DI. 1992. Geological and Terrain Analysis of Choogaryong Rift Valley in Cheolwon Area : Military Applications. Jour. Korean Earth Science Society. 13(2): 136-144. [Korean Literature]
- Hahn J, Lee Y, Kim N, Hahn C, Lee S. 1997. The groundwater resources and sustainable yield of Cheju volcanic island. Korea Environmental Geology. 33(1): 43-53. [Korean Literature]
- Song MY, Shin KS. 1998. Satellite Image Analysis for the Geologic Structure and Land Surface Environments in the Chugaryung Rift Valley Near Chulwon. J Korean Earth Science Society. 19(6): 675-683. [Korean Literature]
- W NC, Kim HD, Lee KS, Park WB, Koh GW, Moon YS. 2001. Interpretation of Groundwater System and Contamination by Water-Quality Monitoring in the Daejung Watershed, Jeju Island. J Econ Environ. Geol. 34(5): 485-498. [Korean Literature]
- Kim GY, Koh YK, Kim CS, Kim HS, Kim SY. 2003. Geochemical Study on the Alluvial Aquifer System of the Nakdong River for the Estimation of River Bank Filtration. The J Engineering Geology. 13(1): 83-105.

- [Korean Literature]
- Koh DC, Plummer LN, Solomon DK, Busenberg E, Kim YJ, Chang HW. 2006. Application of environmental tracers to mixing, evolution, and nitrate contamination of ground water in Jeju Island, Korea. J hydrology. 327(1): 258-275. [Korean Literature]
- Won JH, Lee JY, Kim JW, Koh GW. 2006. Groundwater occurrence on Jeju Island, Korea. J Hydrogeology. 14(4): 532-547. [Korean Literature]
- Koh DC, Cheon SH, Park KH. 2007. Characterization of Groundwater Quality and Recharge using Periodic Measurements of Hydrogeochemical Parameters and Environmental Tracers in Basaltic Aquifers of Jeju Island. J KoSSGE. 12(4): 60-71 [Korean Literature]
- Kim GB, Choi DH, Shin SH. 2011. Characteristics of Groundwater Levels Fluctuation and Quality in Ddan-sum Area. J Korean Geo-Environmental Society. 12(2): 35-43(February, 2011). [Korean Literature]
- Yun SW, Lee JY, Lee HG. 2015. Variation of stream water quality and baseflow contribution from groundwater during rainfall event in the Haeon basin. J Geological Society of Korea. 51(6): 611-621. [Korean Literature]
- The status of Designated protection area of source water. 2013. Ministry of Environment.
- Geological report of the Jipo-ri, Gimhwa sheet. 2007. Korea Institute of Geoscience And Mineral Resources.
- The status of the using water resource map. 2007. Ministry of Construction & Transportation.
- Groundwater management basic plan. 2007. Ministry of Land, Infrastructure and Transport.
- Operation data of Gwanin protection area of source water. 2013. Korea Water Resources Corporation.