

온양지역 온천수의 수리화학적 특성

윤 옥^{1*} · 조병욱¹ · 이철우²

¹한국지질자원연구원 지하수생태연구센터, ²한국지질자원연구원 심지층연구단

Hydrochemical Properties of the Onyang Hot Spring Waters

Uk Yun^{1*}, Byong Wook Cho¹, and Cholwoo Lee²

¹Groundwater & Ecohydrology Research Center, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea

²Center for Deep Subsurface Research, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

Received 9 December 2016; received in revised form 28 December 2016; accepted 30 December 2016

온양지역 온천수의 수질특성을 파악하기 위하여 2011년과 2016년에 24개 온천수의 수질을 분석한 결과 5년 동안 수온과 수질에는 큰 변화가 없었다. 2016년 온천수의 수온과 SiO₂, F와는 정의 상관관계($r^2=0.60, 0.47$)를, Ca, Mg, Cl, SO₄, HCO₃, EC와는 부의 상관관계($r^2=0.50, 0.11, 0.50, 0.63, 0.23, 0.51$)를 나타낸다. 온천수의 수온과 pH는 양의 상관관계, DO와는 음의 상관관계를 보여 온양지역 온천수는 심부 기원임을 지시한다. 온천수 수질 유형은 대부분이 심부기원인 Na-HCO₃ 형으로 분류되나 일부 온천공은 Na(Ca)-HCO₃ 형으로도 분류되어 천부 지하수의 유입특정도 보인다.

주요어: 온양온천, 온천공, 온천수, 수온, pH

For the investigation of hydrochemical changes in hot spring waters from the Onyang hot spring area, we analyzed water chemistry of 24 hot spring waters in 2011 and 2016. The results showed that there is no significant change in temperature and properties of the hot spring waters. The relationship of 2016 between temperature and SiO₂ and F reveals a positive trend ($r^2=0.60, 0.47$), and the relationship between temperature and Ca, Mg, Cl, SO₄, HCO₃, EC reveals a negative trend ($r^2=0.50, 0.11, 0.50, 0.63, 0.23, 0.51$). The relationship between temperature and pH is a positive trend, while the one between temperature and DO is a negative trend, indicating that the source is from deep groundwater. When plotted on Piper diagram, most of which are Na-HCO₃ but several hot waters are classified as the Na(Ca)-HCO₃, indicating inflow of shallow groundwater was occurred.

Key words: Onyang Hot Spring Waters, Hot Spring Well, Hot Spring Water, Temperature, pH

서 론

온양온천은 백제시대에는 온정, 고려시대에는 온수, 조선시대에는 온양이라고 불려온 국내에서 가장 오래된 온천중의 하나이다. 온양온천은 국내 대부분의 온천과 마찬가지로 비화산성 온천으로 중생대 화강암류 분포지역에 위치하고 있다. 온양 온천보호지구내에는 38개 온천공이 있는데 현재 온천수를 사용하고 있는 온천공은 25개이다. 온천공의 분포 지역은 아산시 온천동의 동남동-서북서 방향의 장축 180 m, 단축 50 m에 분포하고 있다. 온천공의 굴착심도는 124~

303 m이고 평균 굴착심도는 242 m이다. 온천수의 사용량은 월별로 다른데 2011년의 경우 2월이 4,007 m³/d로 가장 많으며 8월이 1,923 m³/d로 가장 적다. 온천수의 사용량은 해가 갈수록 증가하는 경향을 보이는데 이에 따라서 온천공의 지하수위(DTW, Depth to water table)는 점차 깊어져서 2003호 온천공의 경우 2011~2012년 사이의 DTW는 90~180 m에 이른다(KIGAM, 2012).

온양온천에 대한 전반적인 조사로는 한국지질자원연구원에 의해(KIGAM, 2012) 수행된 바 있다. 온양온천의 수질에 대한 연구로는 Jeong et al. (2001)가 온천수 13개 및 지하

*Corresponding author: yunuk@kigam.re.kr

© 2016, The Korean Society of Engineering Geology

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

수 수질의 끝성분(end member)을 이용하여, Kim et al. (2002)은 불소농도를 이용하여 온천수와 천부 지하수의 유입정도를 추정하였다. Jeong and Lee (2007)는 양수량과 수위관계해석을 통하여 양수량-수위강하량 관계식을 도출하였다. 그러나 온양온천 전체 온천공을 대상으로 한 연구는 아직 없다. 본 연구는 2011년과 2016년에 온천수를 사용하고 있는 24개 온천수의 수온과 수질분석 결과를 비교하고 수온과 성분간의 관계 해석을 통하여 온양온천 온천수의 수질 변화 및 수화학적 특성을 제시하고자 하였다.

지형 및 지질

연구지역의 지형은 굴곡천을 기준으로 북부 및 서부의 호상편마암 지역은 비교적 높은 산세를 이루며 굴곡천 주변 및 온양온천 주변의 화강암류 분포지역은 낮은 구릉이나 평야지대를 이룬다. 한국지질자원연구원(KIGAM, 2012)에 의하면 온양온천 서부는 선캠브리아기의 호상편마암을 기반암으로 하고 쥘라기의 화강암류(엽리상각섬석화강암, 화강섬록암, 반상화강암, 흑운모화강암)와 백악기의 미화강암 및 암맥류가 이를 관입하고 있다(Fig. 1). 연구지역 동부는 흑운모화강암 및 반상화강암으로 분류된다. 온천공들의 분포는 서북서-동남동 방향의 온천대로를 따라 좁은 지역에 분포한다. 온천공들은 쥘라기 흑운모화강암 지역에만 위치하며 쥘라기 화강섬록암지역에서는 온천공이 없으며 수온도 낮아지는 경향이 있다. 따라서 온양온천의 성인과 쥘라기 최후기인 흑운모화강암과는 밀접한 관계가 있을 것으로 추정된다.

시료채취 및 분석

현장수질 측정과 수질분석을 위한 시료채취는 2011년

5~6월에 총 23개의 온천공, 2016년 8~9월에 24개 온천공으로부터 이루어졌다. 이들 온천공의 심도와 위치는 Table 1과 같다. 현장에서 직접 측정된 항목은 지하수의 온도(Temperature), 수소이온농도(pH), 산화환원전위(Oxidation Reduction Potential), 전기전도도(Electric Conductivity), 용존산소량(Dissolved Oxygen) 등이다. 현장수질 측정은 온천공 체적의 3~5배 이상을 배출시켜서 수질이 안정되었다고 판단된 뒤(Barcelona et al., 1985) 휴대용 측정기인 SK1250MC, HM-12P TOA, RM-20P TOA, CM-14P TOA, KDO-5151 KRK를 이용하여 이루어졌다. 주요 양이온 및 음이온 분석용 시료들은 0.45 μm membrane filter로 여과하여 부유물 및 이물질을 제거하고 HD 폴리에틸렌 용기에 담은 후 냉장 보관하였다. 양이온 분석용 시료는 이온의 침전이나 흡착으로 인한 변질을 막기 위하여 농질산(65%) 1 ml를 첨가하여 pH 2 이하로 산성화 시켜 보관하였다. 분석 성분 중에서 중탄산염(HCO_3^-)과 탄산염(CO_3^{2-})의 2개 항목은 현장에서 0.05 N의 질산을 사용하여 적정하

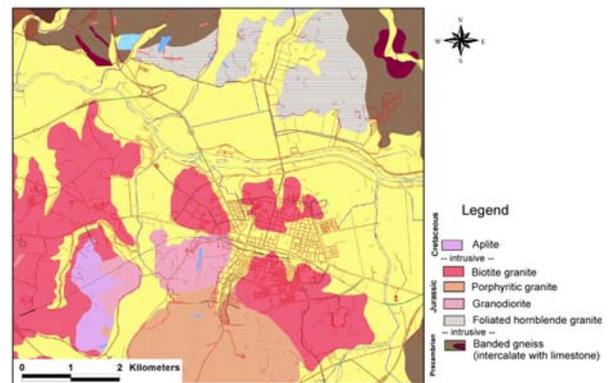


Fig. 1. Geological map of the Onyang hot spring area (after KIGAM, 2012).

Table 1. The coordinate and depth of the wells at the Onyang hot spring area.

Well No.	X (TM) (m)	Y (TM) (m)	Depth (m)	Well No.	X (m)	Y (m)	Depth (m)
2001	200115	364533	180	2016	200168	364522	275
2002	200106	364538	163	2017	200173	364510	303
2003	200051	364538	300	2018	200047	364538	300
2004	200153	364521	270	2021	200152	364512	200
2005	200150	364515	245	2022	200168	364518	270
2007	200112	364545	180	2023	200168	364516	303
2008	200119	364543	193	2025	200116	364538	300
2010	200130	364516	205	2029	200138	364520	300
2011	200135	364516	300	2031	200144	364518	280
2012	200051	364537	300	2035	200199	364501	270
2013	200138	364522	300	2036	200198	364504	270
2014	200140	364524	300	2037	200173	364506	303
2015	200145	364524	303				

였으며, 나머지 16개 성분(K, Na, Ca, Mg, SiO₂, F, Cl, SO₄, Li, Sr 등)은 한국지질자원연구원 지질자원분석센터에서 분석되었다.

결과 및 고찰

온천수의 수온과 현장수질

온천수의 현장 측정결과는 Table 2, 3과 같다. 지하수(온천수)의 수온은 대수층 온도와 평형을 유지하기 때문에 특정 심도에서의 수온은 지하수(온천수)의 순환심도를 반영한다. 2011년 23개 온천수의 수온은 37.8~54.9°C (평균 49.3 °C)를, 2016년의 24개 온천수의 수온은 38.1~54.6°C (평균 49.3 °C)로 2011과 같다.

온천수의 pH도 2011년 23개 측정결과(7.78~9.07 범위, 평균 8.53)와 2016년 24개 측정결과(7.76~9.00 범위, 평균 8.48)는 유사한 값을 보인다. 온천수의 온도와 pH는 양의 비례관계를 보인다(Fig. 2a). 온천수의 EC 범위도 2011년은 296~577 μS/cm (평균 351 μS/cm), 2016년 8월은 295~460 μS/cm (평균 339.2 μS/cm)를 보여 큰 차이가 없다. 온천수의 EC는 심도가 깊을수록 물-암석 반응이 진행되어 EC 값

이 증가하는 것이 일반적이다. 그러나 연구지역 온천수의 EC는 수온과는 음의 관계를 보여주는데(Fig. 2b) 이는 온도가 낮을수록 Ca, Mg, Cl, HCO₃, SO₄ 농도가 높아지기 때문일 것으로 해석된다. 온천수의 DO는 2011년은 1.18~6.04 mg/L (평균 3.43 mg/L)를, 2016년은 0.1~5.72 mg/L (평균 2.48 mg/L)를 나타내어 2016년의 DO가 더 낮게 함유된 것으로 나타난다. DO의 경우 2011년에는 온천수의 수온이 상승할수록 낮아지는 경향을 보이나 2016년은 뚜렷하지 않다 (Fig. 2c).

온천수의 수온과 주요 성분과의 관계

SiO₂ 성분은 규산염광물이 풍화침식된 후 지하수 속에 용해된 것들로서 흔히 지열의 지시성분으로 사용되며 일반적으로 온천수의 온도에 비례한다. 온양온천 온천수의 SiO₂ 함량은 2011년은 35.9~70.8 mg/L (평균 52.6 mg/L), 2016년은 39.0~58.4 mg/L (평균 52.3 mg/L)의 높은 값을 나타내 대부분이 실리카온천(40 mg/L 이상)에 해당된다. 온천수의 수온이 상승할수록 SiO₂ 함량이 증가하는 양의 비례관계를 보이는데, 특히 2016년 자료에서는 r²=0.47의 관계를 보여 준다(Fig. 3a).

Table 2. Field measurements of the Onyang hot spring waters (2011).

No.	Date	Temp. (°C)	pH	EC (μS/cm)	ORP (mV)	DO (mg/L)
2001	05/03/11	48.4	8.47	332	121	4.10
2002	05/03/11	54.3	8.66	311	135	1.73
2003	05/03/11	46.1	8.14	357	152	5.44
2005	05/04/11	39.7	8.08	431	155	6.04
2007	05/04/11	50.6	8.61	347	139	1.32
2008	05/04/11	39.9	8.23	390	142	2.36
2010	05/04/11	51.7	8.54	307	167	4.14
2011	05/03/11	51.8	8.42	340	107	2.02
2012	05/03/11	49.8	8.32	346	135	4.99
2013	06/03/11	46.0	8.14	363	153	5.23
2014	06/03/11	47.0	8.23	353	171	4.55
2015	06/03/11	53.0	8.18	316	101	3.75
2017	06/03/11	47.0	9.07	308	78	3.35
2018	05/03/11	37.8	8.12	465	151	5.65
2021	05/04/11	51.4	8.64	349	114	1.18
2022	05/03/11	53.3	8.88	311	141	2.23
2023	05/03/11	54.9	9.01	311	105	2.25
2025	05/03/11	52.6	8.73	322	84	3.91
2029	05/03/11	52.0	8.98	309	103	2.82
2031	06/03/11	53.0	8.95	296	97	2.38
2035	06/03/11	54.5	9.07	324	101	2.12
2036	06/03/11	53.0	8.94	299	91	2.65
2037	06/03/11	45.9	7.78	577	187	4.68

Table 3. Field measurements of the Onyang hot spring waters (2016).

No.	Date	Temp. (°C)	pH	EC (μS/cm)	ORP (mV)	DO (mg/L)
2001	08/3/16	48.5	8.33	335	130	3.50
2002	08/3/16	48.5	8.39	327	161	0.99
2003	08/3/16	47.0	8.33	354	170	2.36
2004	08/3/16	54.0	8.83	337	127	1.50
2005	08/3/16	42.3	8.84	314	163	5.72
2007	08/3/16	50.8	8.38	383	190	1.67
2008	08/3/16	40.0	8.24	378	166	2.21
2010	08/3/16	51.8	8.55	314	194	5.10
2011	08/3/16	50.8	8.50	330	161	1.20
2012	08/3/16	44.9	8.44	339	198	5.60
2013	08/3/16	46.1	8.10	359	178	2.60
2014	08/3/16	47.0	7.76	364	166	4.34
2015	08/3/16	53.1	8.39	349	152	1.66
2016	09/21/16	53.0	8.45	309	122	1.85
2017	08/3/16	46.8	8.00	384	179	3.28
2018	08/3/16	38.1	7.9.0	460	173	0.78
2021	08/3/16	49.0	8.45	355	185	1.51
2022	08/3/16	53.8	8.93	313	127	0.10
2023	08/3/16	54.6	8.92	302	130	0.10
2025	08/3/16	51.3	8.62	316	171	0.35
2029	08/3/16	52.0	8.85	317	152	1.62
2035	08/3/16	54.0	9.00	295	157	1.70
2036	08/3/16	53.2	8.55	302	155	5.52
2037	08/3/16	52.5	8.90	305	157	4.15

F 이온의 기원은 형석(CaF₂)의 용해와 운모류 등에서 OH⁻를 치환하여 광물 용탈시 용해된다(Hem, 1992). Lee et al. (1997)는 지하수의 산출심도가 증가할수록 물 암석 반응이 길어지므로 광물로부터 용탈되는 불소의 양이 증가한다고 보고하였다. 온천수의 수온과 불소농도 관계는 2011년은 $r^2=0.45$, 2016년은 $r^2=0.60$ 을 보여 매우 높은 신뢰도를 보여준다(Fig. 3b).

Mg, Ca 이온은 토양에 풍부하여 천부로 갈수록 증가하는 양상을 보인다. Ca 및 Mg 이온은 온도가 높을수록 용해도가 감소하는 특징이 있으며 우리나라 온천수의 경우 고온에서는 2~20 mg/L 정도로 낮으나, 수온이 낮은 곳에서는 높아지는 경향이 있다(Hamm et al., 2007). 2011년과 2016년 온천수의 Ca 농도는 각각 2.33~66.7 mg/L (평균 11.9 mg/L), 22.67~32.5 mg/L (평균 9.0 mg/L)이고 온천수의 수온과는 음의 비례를 보인다(Fig. 4a). 온천수의 Mg의 함량은 2011년은 0.03~15.9 mg/L (평균 1.64 mg/L), 2016년은 0.05~4.12 mg/L (평균 0.78 mg/L)인데 Ca와 마찬가지로 온천수 수온과 음의 비례를 보여준다(Fig. 4b).

온천수의 염소이온의 기원은 화성암의 관입 또는 지하심부의 고온가스로부터 유리, 지층내의 암염과 염화물이 순환수의 유동으로 인한 재용해, 해수 및 지표수의 혼합 등이 있다. Cl⁻ 농도는 2011년 24.0~51.4 mg/L (평균 32.5 mg/L), 2016년에는 24.3~45.9 mg/L (평균 31.20 mg/L)를 보인다. 수온과 Cl⁻ 농도는 음의 상관관계($R^2=0.63$, 0.50)를 보인다(Fig. 5a). 따라서 온천수의 Cl⁻이 인위적 오염인지 암석/물 반응에서 공급된 것인지 구분하기 위하여 Fig. 5(b)에서와 같이 Na와 Cl의 mmol 농도를 투영하였는데 온천공들은 대부분 host-rock 반응에 의한 것으로 나타나 인위적 오염에 기인한 것은 아닌 것으로 추정된다. Cl⁻이 인위적 오염에 의해 기인한다면 Na⁺ 성분대에 대해 1배 이상 초과되는 지점에 도시되었을 것이다. 그러나 온천공들은 0.5배 이하에 도시되므로 암석/물 반응에서 공급되었을 것으로 해석된다.

HCO₃⁻ 농도는 2011년은 80.63~230.0 mg/L (평균 106.72 mg/L), 2016년에는 90.15~160.96 mg/L (평균 130.96 mg/L)를 보이며 온도상승에 따라 HCO₃⁻ 농도가 감소함을 ($R^2=0.28$, 0.23) 보여준다(Fig. 6(a)). SO₄²⁻ 농도는 2011년은

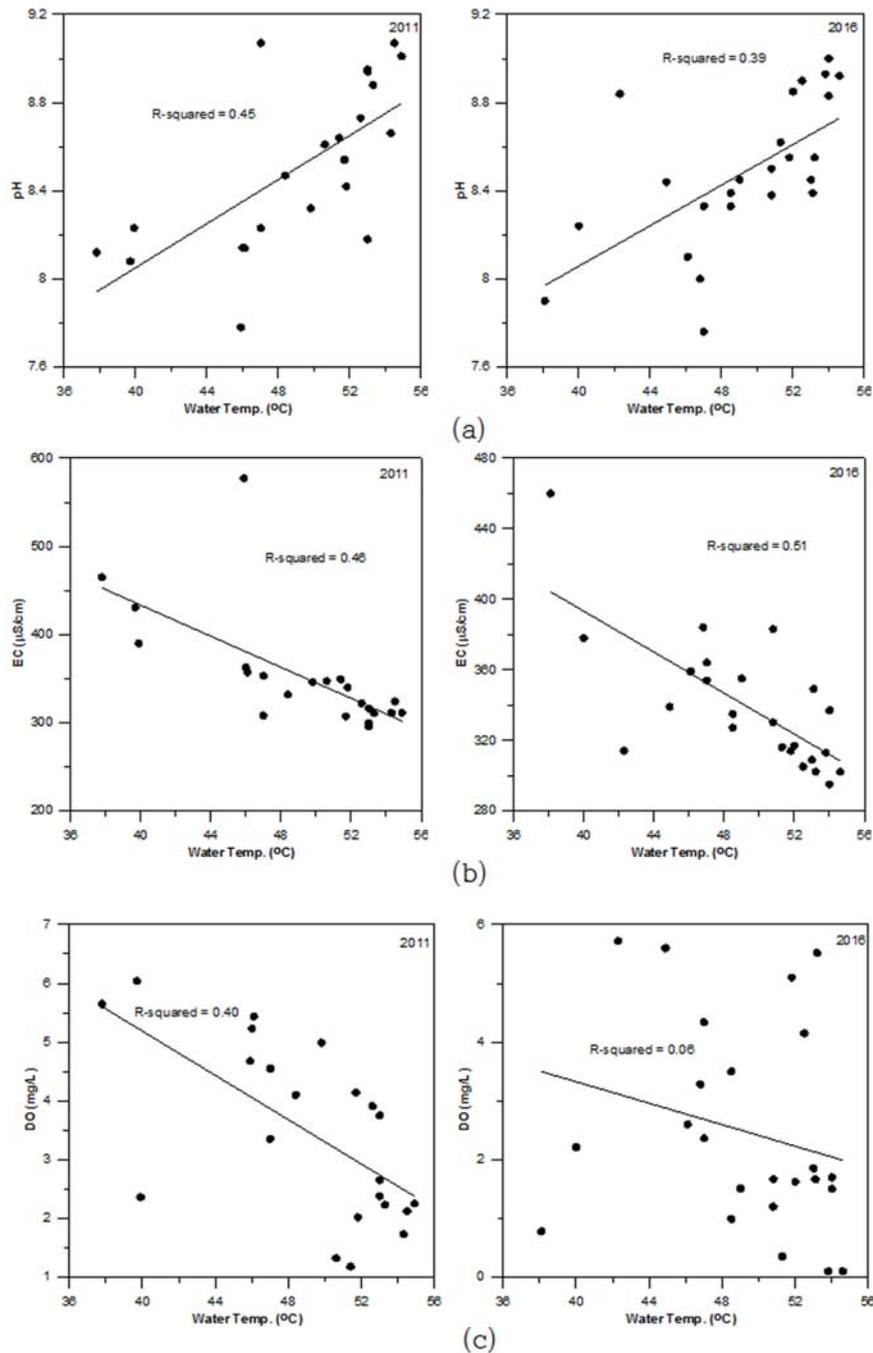


Fig. 2. Relationship between water temperature and pH (a), EC (b), and DO (c).

18.6~38.5 mg/L (평균 24.0 mg/L), 2016년에는 2011년 20.1~35.7 mg/L (평균 24.0 mg/L)를 보이며 온도상승에 따라 SO_4 이온 농도가 감소함($R^2=0.72, 0.63$) 보여준다(Fig. 6(b)). 온천수의 온도 상승에 따라 Ca, Mg 성분과 함께 HCO_3 , SO_4 이온 농도가 감소하는 것은 온천수의 용존이온이 증가하여 탄산염광물의 침전작용이 일어났음을 지시한다.

Fig. 7은 온천수의 pH와 EC, 및 F, Ca, Mg 이온간의 관계를 보여준다. 온천수의 pH와 F는 양의 상관관계를 보

이는데 이는 물-암석 반응과정에서 pH가 증가함에 따라 F의 주요 공급원으로 추정되는 형석(CaF_2), 운모류의 용해반응이 지속적으로 진행하기 때문인 것으로 보인다(Jeong et al., 1997). 일반적으로 심부 지하수 일수록 pH가 증가함을 보여 주는데 이는 물-암석 반응이 충분히 진행되어 암석, 광물과 가수분해 반응을 하여 OH^- 를 방출하기 때문이다. 화강암지역 지하수에서 물-암석 반응이 진행됨에 따라 수소이온의 소모로 인하여 pH는 증가하고 전기전도도는 증가와

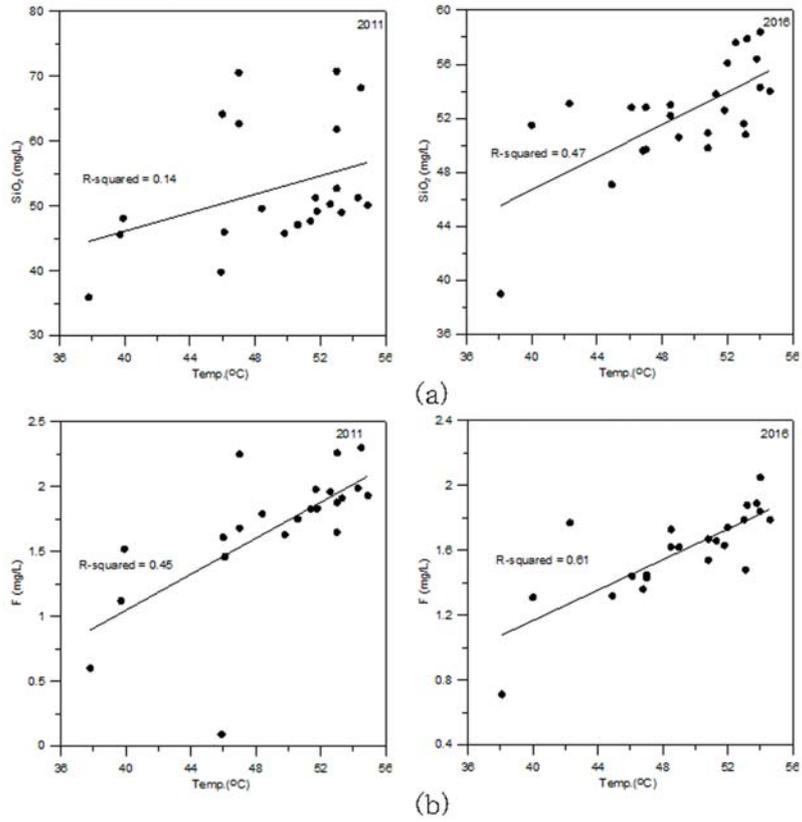


Fig. 3. Relationship between water temperature and SiO₂ (a) and F (b).

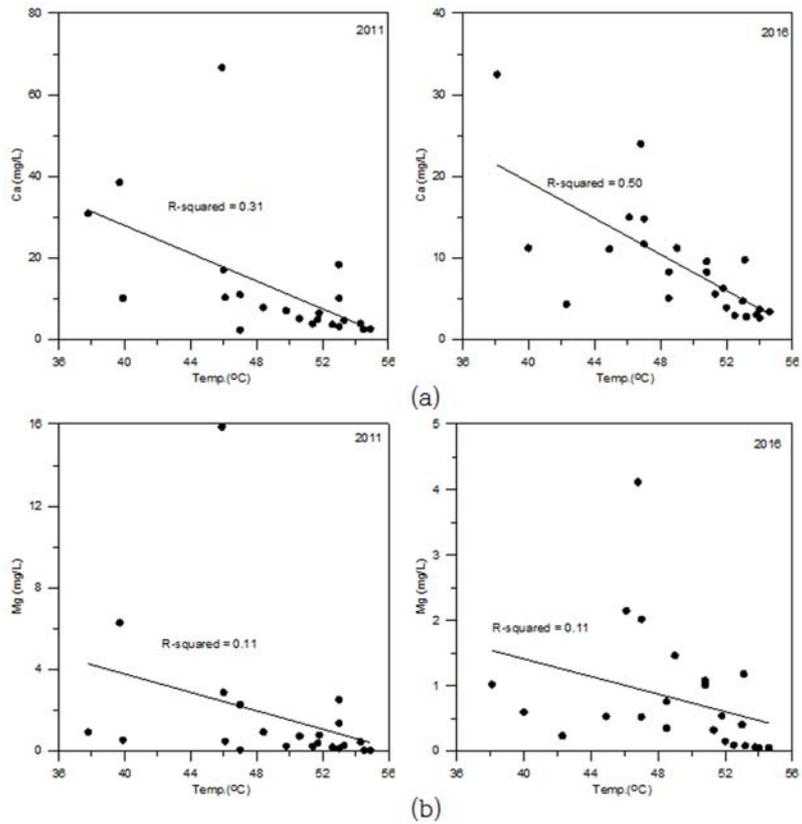


Fig. 4. Relationship between water temperature and Ca (a) and Mg (b).

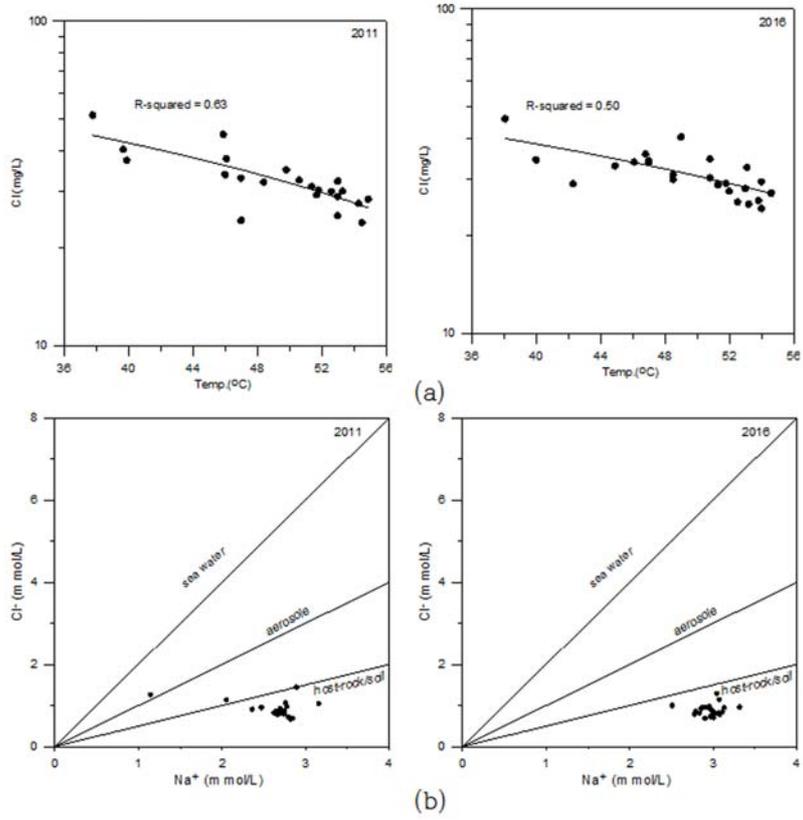


Fig. 5. Relationship between water temperature and Cl (a) and plots of Na and Cl in mmol (b).

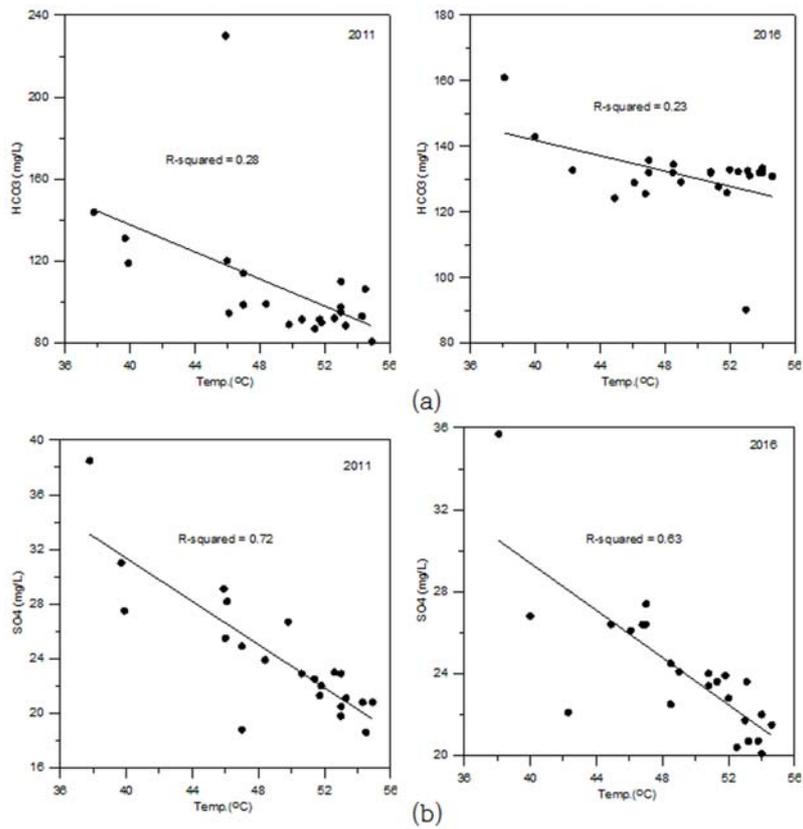


Fig. 6. Relationships between water temperature and HCO₃ (a) and SO₄ (b).

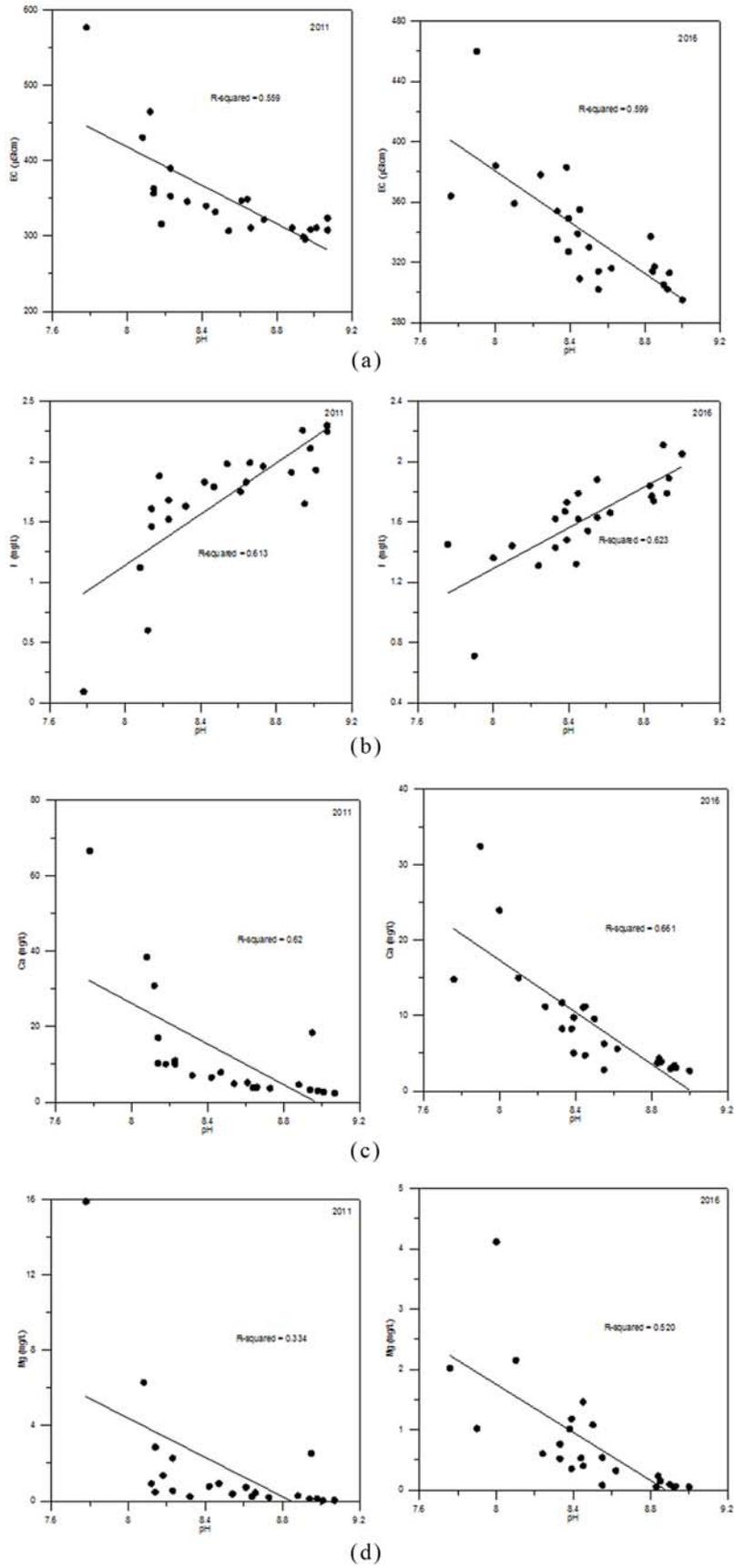


Fig. 7. Relationship between pH and EC (a), F (b), Ca (c), and Mg (d).

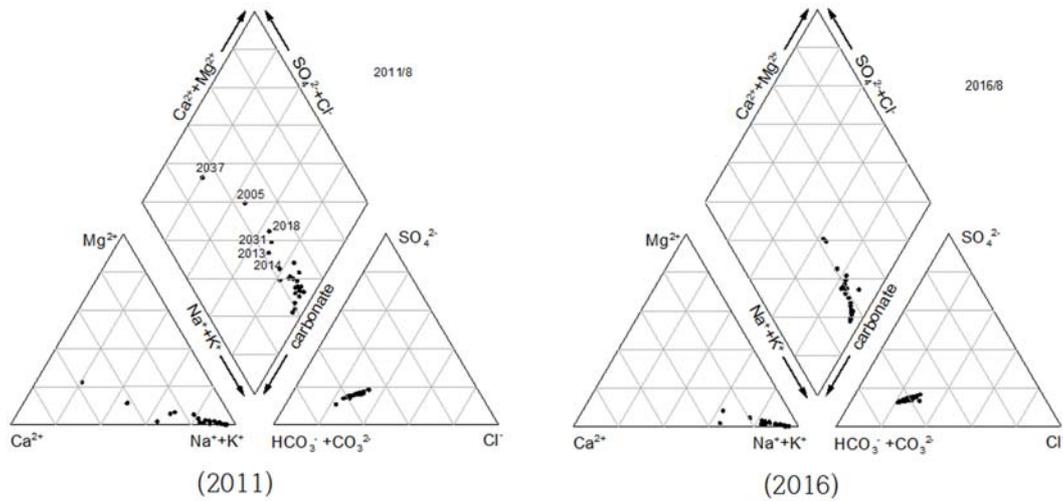


Fig. 8. Piper diagram showing water types of the Onyang hot spring waters.

감소의 반복을 통하면서 전체적인 반응경로는 증가하는 경향을 보이다가 이온성분들의 용해가 포화상태에 도달하면 증가상태가 멈추고 감소하는 경향을 보이기도 한다. 이는 포화상태에 있는 이온성분들이 이차광물로의 침전에 의한 이온 성분의 감소에 기인한다. 물-암석 반응의 진행에 따른 전기전도도의 감소 경향에 대한 또 한가지의 가능성은 천부의 이온 함량이 낮은 지하수가 온천수와 혼합에 의해서도 낮아질 수 있다.

Jeong et al. (2001)은 온양온천에서의 과도한 온천수 양수로 인해서 저온의 지하수가 20% 정도 혼합되는 것으로 추정하였으며, Kim et al. (2002)은 불소이온 및 질산성질소 이온을 이용하여 온천수의 약 10~50%는 천층부 냉천수가 혼합한 것으로 추정한 바 있다.

온천수의 수리화학적 특성

온양지역 온천수의 수질 유형을 파악하기 위하여 아래와 같이 주요 성분의 epm%를 파이퍼도에 도시하였다(Fig. 8). 온천수의 화학적 유형은 대부분이 Na-HCO₃ 유형으로 분류된다. 온천수의 음이온 성분은 HCO₃⁻의 함량이 우세하고, 양이온 성분은 시기별로 다소 차이가 있지만 상대적으로 Na+K의 함량이 높아지고 있기 때문이다. Jeong et al. (1997)에 의하면 화강암과 화강편마암 대수층에서 지하수의 지화학적 진화 초기 단계에서는 Ca-HCO₃ 유형에서 시작하여 진화과정을 거치면서 Na(Ca)-HCO₃ 유형과 Na-HCO₃ 유형으로 점진적으로 진화되는 경향을 보이는 것으로 제시하였다. 2011년에 측정된 23개 온천수의 수질유형을 살펴보면 온천공 2037(45.9°C)은 Ca-HCO₃ 형, 2005(39.7°C), 2018(37.8°C), 2031(53.0°C), 2013(46.0°C), 2014(46.0°C)는 Na(Ca)-HCO₃ 형에 그 외 나머지는 Na-HCO₃ 형으로 진화하며 수온도 높아지는 특성을 보인다. 2016년에 측정된 24

개 온천수의 수질유형을 살펴보면 온천공 2017(46.8°C), 2018(38.1°C), 2013(46.1°C), 2014(47.0°C)는 Na(Ca)-HCO₃ 형에 그 외 나머지는 Na-HCO₃ 형으로 진화하며 수온도 높아지는 특성을 보인다. 2011년과 2016년의 수질조성에는 큰 차이가 없으나 Ca 성분은 약간 감소하고 Na+K 성분은 약간 증가함을 보인다(Fig. 8).

결론

온양온천지역 온천수의 수질변화를 파악하기 위하여 2011년과 2016년에 24개 온천공에서 온천수의 현장수질을 측정하고 주요 이온을 분석하고 성분간 상관성을 검토하였다. 연구지역 온천수는 온도가 높을수록 pH는 증가하고 DO는 낮아진다. 온천수의 온도가 높을수록 Ca, Mg, HCO₃⁻, SO₄²⁻ 이온 농도가 감소하는 것은 온천수의 용존이온이 증가하여 탄산염광물의 침전작용이 일어났음을 지시하여 온천지대의 특성을 보인다. 온천수의 pH와 F의 관계는 r²=0.61 (2011), r²=0.62 (2016)로 나타나며 온천수의 수온과 F, SiO₂ 관계도 양의 상관관계를 보여 물-암석 반응이 진행되었음을 보인다. 파이퍼도에 의한 온양온천의 수질유형은 물-암석 반응이 진행된 심부지하수형에 속하지만 진화 초기인 Ca-HCO₃와 중기에 해당하는 Na(Ca)-HCO₃ 형도 있어서 일부 온천수는 천부 지하수의 혼입을 예상할 수 있다. 전반적으로 보아서 온양온천 온천수의 수온과 수질은 2011년과 2016년 사이에 큰 차이가 없다.

References

Barcelona, M. J., Gibb, J. P., Helfrich, J. A., and Garske, E. E., 1985, Practical guide for groundwater sampling. SWS Con-

- tract Report, 374.
- Hamm, S. Y., Lee, C. W., and Koh, G. W., Study on the reservation of hot spring water, Institute for Research and Industry cooperation of Pusan University.
- Hem, J. D., 1992, Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water, 4rd ed., US Government printing office, Washington, 182pp.
- Jeong, B. S., Koo, M. H., and Kim, H. S., 2001, Characteristics of the Onyang hot spring waters, Mixing ratio of shallow groundwater, Preceeding of the KOSSGE autumn conference, 21-22.
- Jeong, C. H., Chun, S. S., Kim, T. K., and Kim, S. J., 1997, Reaction path Modelling on Geochwimical evolution of groundwater and formation of secondary minerals in watergneiss reaction system, Journal of Mineralogical Society of Korea, 10, 33-44.
- Jeong, J. G. and Lee, C. W., 2007, An analysis of the relationships between quantity and drawdown at the Onyang hot spring area, Journal of engineering geology, 17(2), 177-185.
- KIGAM, 2012, Study on the Onyang hot spring area, Kigam report no. 335, 170pp.
- Kim, K. J., Koo, M. H., Moon, S. H., and Yum, B. W., 2002, The lessons learned from hydrogeochemical characteristics of the Onyang hot spring waters, Preceeding of the ENGEO autumn conference, 13-14.

- Lee, J. U., Chon, H. T., and John, Y. W., 1997, Geochemical characteristics of deep groundwater in Korea, Journal of Korea Society of Groundwater Environment, 4(4), 199-211.

윤 옥

한국지질자원연구원 지하수생태연구센터
대전광역시 유성구 과학로 124
Tel: 042-868-3118
E-mail: yunuk@kigam.re.kr

조병옥

한국지질자원연구원 지하수생태연구센터
대전광역시 유성구 과학로 124
Tel: 042-868-3083
E-mail: cbw@kigam.re.kr

이철우

한국지질자원연구원 심지층연구단
대전광역시 유성구 과학로 124
Tel: 042-868-3085
E-mail: lcw@kigam.re.kr