

## 오색온천수의 지화학적 및 침전물에 대한 광물학적 특성

### Geochemistry and Mineralogy of Precipitates from Oseag Hot Spring

김 정 진 (Jeong Jin Kim)<sup>1,\*</sup> · 김 수 진 (Soo Jin Kim)<sup>1</sup> · 김 윤 영 (Kim Yoon Young)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 지구환경과학부

(School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea)

<sup>2</sup>중앙대학교 인삼산업연구센터

(Korea Ginseng Institute, Chung-Ang University, Ansung 456-756, Korea)

요약: 오색 온천은 강원도 북동부 지역인 양양군 서면 오색리에 위치하고 있으며 온천 원수의 온도는 약 42℃이다. 온천 원수는 EC (196  $\mu$ S/cm), SO<sub>4</sub> (10.88 mg/L), F (8.19 mg/L), 그리고 Na (37.09 mg/L)로 상당히 높은 값을 나타낸다. 온천 원수가 배출되는 배출구 부근에는 붉은색과 검은색의 침전물이 형성되고 있다. X-선회절분석 결과 대부분 결정도가 낮은 철 수산화광물에서 관찰되는 회절선과 결정질의 메셀라이트로 구성되어 있다. 전자현미경 관찰 결과 침전물에는 외관상으로 구형과 막대모양의 박테리아와 유사한 형태들이 발견된다.

주요어 : 오색 온천, 침전물, 배출구, 메셀라이트, 박테리아

**ABSTRACT** : The Osaeg hot spring (long. 128° 56'E, lat. 37° 06'N) located in the northeaster part of Kangwon-do, Korea. The pH value of the hot spring water is 8.31, and the EC, SO<sub>4</sub>, F and Na are 196  $\mu$ S/cm, 10.88 mg/L, 8.19 mg/L, and 37.07 mg/L, respectively. The ochreous precipitates are precipitated on the stream bottom of Osaeg hot spring drainage. X-ray diffraction analysis (XRD), scanning electron microscopy (SEM) and stereo-microscope were used to analyze the precipitates. X-ray diffraction analysis shows that the precipitates consist mainly of poorly crystalline materials and messelite. Many spherical and rod-shaped bacteria-like forms were observed in the precipitates.

**Key words** : oseag hot spring, ochreous precipitates, drainage, messelite, bacteria-like form

\*교신저자: jcabin@dreamwiz.com

## 서 언

강원도 양양군 서면 오색리에 위치한 오색온천은 발견된 정확한 연대는 알 수 없으나, 주변에 있는 오색약수터가 발견된 시기와 같은 1500년경으로 추정되고 있을 뿐이다. 오색온천수가 본격적으로 개발되기 시작한 것은 아주 최근인 지난 1981년으로 국도변 가까운 곳을 지하 300 m까지 파내려가 섭씨 35.5℃의 온천수를 다시 발견하게 되면서이다. 이 온천은 천연온천으로 오색약수터에서 한계령 쪽으로 4 km쯤 도로를 따라 위쪽으로 올라가다 산 쪽으로 2 km쯤 들어가면 그곳에 온천원류가 있다. 옛날에는 직접 산으로 올라가 온천욕을 즐겼으나 지금은 온천수를 끌어올려 오색약수 부근에 위치한 위락시설 단지까지 송수하여 공급하고 있다. 오색온천은 국내에서 제일 높은(해발 650 m) 지대에서 용출되는 고지대 분출온천으로 이름이 나있으며, 용출수의 온도는 약 42℃이다. 알칼리성 단순천으로, 온천수의 색깔은 무색 투명하면서도 유황냄새가 나는 것이 특징이다.

온천수에 대한 지화학적 특성은 주변 모암과의 반응에 의해 결정되며, 온도, pH와 같은 요인에 의해 특성이 조절된다(김규한과 최현정, 1998). 또한, 온천 용출수로부터 침전되는 침전물들은 온천수에 포함된 성분 에 의해 결정되며 온도와 pH 변화가 침전물의 형성에 가장 큰 요인으로 작용한다. 탄산온천인 경우 철 산화/수산화물 외에 방해석이나 아라고나이트가 형성되기도 한다(김정진과 김윤영, 2002).

우리나라 온천수의 화학적 특성에 관한 연구는 박규창(1968), 김계남 등(1989), 최상근(1988), 김도희(1993), 김규환과 최현정(1998) 등에 의해 수행되었다. 온천침전물에 대한 광물학적 특성에 관한 연구는 김건영 등(2000), 김정진과 김윤영(2002)에 의해 수행된 바 있다. 외국의 경우 석회암 지대에서 방해석이 침전하고 있는 지역을 대상으로 무기적으로 침전되는 방해석의 침전작용을 해석하기 위하여 지화학적 및 동위원소 연구가 수행되었다(Deines *et al.*, 1974; Usdowsky *et al.*, 1979; Dandurand *et al.*, 1982; Michaelis *et al.*, 1985; Herman and Lorah, 1987; Dreybrodt *et al.*, 1992).

본 연구의 목적은 오색온천에 대한 지구화학적 특성과 온천 용출수로부터 침전되는 침전물

들에 대한 광물학적 특성을 밝히는 데 있다. 이를 위하여 온천수에 대한 화학분석 및 침전물들에 대한 기기 분석을 수행하였다.

## 지질 및 환경

선캄브리아대의 화강암질 편마암과 중생대 백악기 화강암을 기저로 설악산 화강암, 흑운모 화강암, 점봉산 화강암, 적색 화강암이 이를 관입하고 있다(Fig. 1).

설악산 화강암에 시추공을 뚫은 오색온천은 N30 W로 발달한 단층대 내에서 용출되고 있으며 초기 온천수의 온도는 42℃ 정도이지만 지표부근에서 측정된 배출수는 약 38℃이다. 온천수가 용출되는 곳은 폭 10 m 정도의 하천으로 거의 오염이 되지 않았으며 하천으로 방출되는 온천수는 하천수에 비해 아주 적은 양이기 때문에 하천의 지화학적 특성 변화에는 거의 영향을 주지 않는다.

온천수가 용출되는 배수구 부근에는 바닥과 자갈에 침전물이 코팅되어 붉은색을 띠고 있다. 코팅된 침전물의 두께는 0.1 mm 이하로 아주 얇으며 유속에 의해 쉽게 제거되지 않는다.

## 연구 방법

현지 조사 및 온천수 및 주변의 하천수에 대한 채수는 2003년 8월에 실시하였으며 침전물 채취는 온천수가 용출되는 부분의 바닥과 자갈에 코팅된 침전물을 분리하여 비닐봉지에 보관한 후 실험실에서 분리하였다. 온천수 시료 및 배출수와 혼합되는 하천수에 대하여 채수하기 전, 현장에서 pH, 온도, 전기전도도(EC) 등을 휴대용 Orion1230 pH측정기로 측정하였다. 분석용 시료는 현장에서 0.45  $\mu\text{m}$  membrane filter를 이용해서 부유물을 제거시켰다. 온천수 및 하천수 시료는 1000 mL를 채수하여 멸균 처리된 폴리에틸렌 병에 담았으며 채수한 시료는 아이스 박스에 얼음을 채운 후 보관하여 실험실로 운반하여 분석 시까지 4℃로 냉장 보관하였다.

하천수의 화학적 특성을 알아보기 위하여 양이온은 유도쌍극자플라즈마분광분석(ICP-AES), 음이온은 이온크로마토그래피(IC)를 이용하여 분석하였다. 용출되는 온천수로부터 침전되는 침전물의 구성 광물들을 감정하기 위하여 X-선

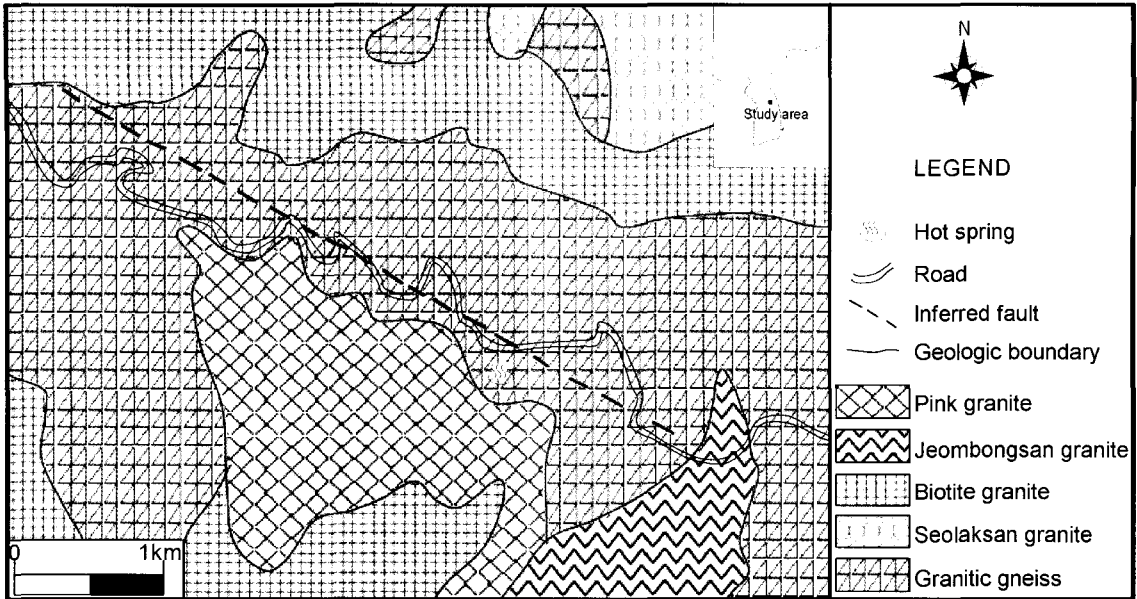


Fig. 1. Geological map of the Osaeg hot spring area.

회절 분석을 실시하였다. 분석조건은 CoK $\alpha$  선을 이용하여 3~70°, 10 sec (scanning time)/0.05° (2 $\theta$  step)으로 분석하였다. 침전물에 대한 주사전자현미경(SEM)관찰 및 쌍안실체 현미경 관찰을 실시하였다.

### 결과 및 토의

#### 온천수 및 하천수

오색온천의 용출수와 주변 하천에 대한 온도, pH, EC 등이 현장 측정 결과와 화학 분석값은 Table 1과 같다. 온천수와 하천수 시료는 온천원수(OS-1), 온천원수와 하천수가 혼합되는 지점(OS-2), 혼합 지역 아래의 계곡 하류지점(OS-3), 혼합지역 위쪽의 계곡 상류지점(OS-4)으로 구분 하였다(Table 1). 오색온천 원수의 온도는 42로 알려져 있지만 주변 하천으로 용출되는 온천수의 온도는 37.4°C이다. 온천수의 pH값은 7.72로 주변의 하천수의 7.26보다 약간 높은 값을 나타낸다. EC는 196으로 주변 하천수보다는 높은 값을 나타내지만 일반 지하수와 거의 비슷한 값을 나타낸다. F의 값이 8.19 ppm으로 높은 값을 나타내는 데 주변의 오색약수의 F 값이 11.10 ppm으로 높게 나타나는

Table 1. Chemical analyses of Osaeg hot spring and stream water (unit: mg/L)

Sample No.	OS-1	OS-2	OS-3	OS-4
Temp.(°C)	37.4	27.1	20.8	16.6
pH	7.72	7.65	7.59	7.26
EC( $\mu$ s/cm)	196	138	51	27
F	8.19	3.27	1.20	N.D
Cl	2.92	2.05	1.57	1.39
NO <sub>3</sub>	N.D	2.63	3.71	4.3
SO <sub>4</sub>	10.88	6.54	4.71	3.81
Na	37.09	15.44	6.29	1.89
Mg	0.02	0.31	0.45	0.43
Al	0.03	0.01	0.00	0.00
Si	18.86	9.33	5.09	2.93
K	0.45	0.51	0.59	0.55
Ca	11.40	6.25	3.77	2.52
Mn	0.28	0.15	0.07	0.05
Fe	0.08	0.03	0.01	0.01
Co	0.01	0.01	0.01	0.01
Ni	0.00	0.01	0.00	0.01
Cu	0.01	0.00	0.01	0.00
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00
Cd	0.01	0.01	0.01	0.01

N.D: No Detection

것으로 보아 온천 주변 모암과 관련성이 클 것으로 추측된다. 오색온천은 유황냄새가 나는 것

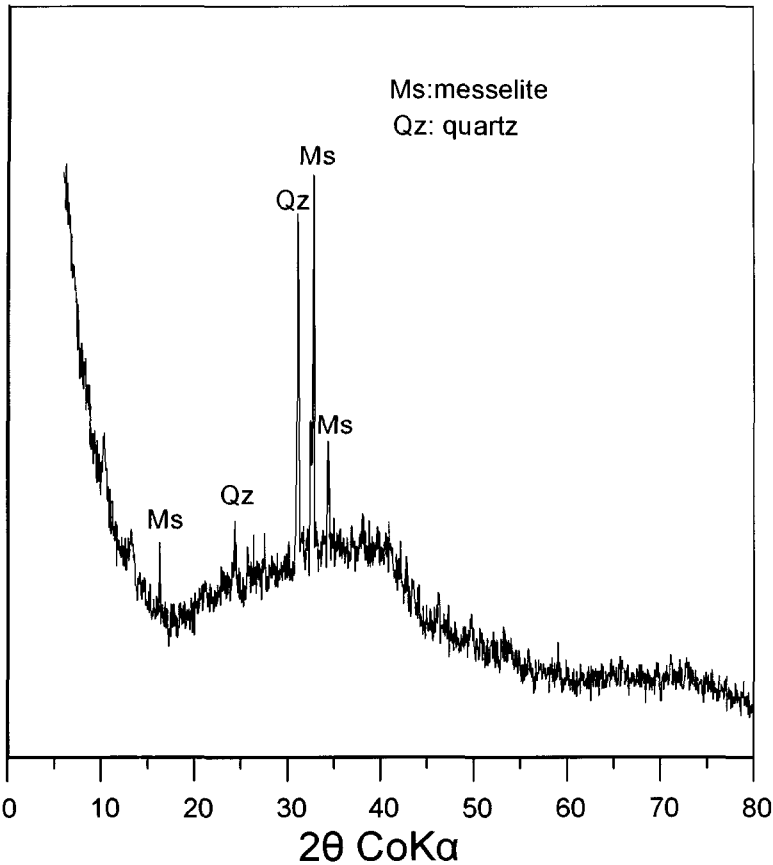


Fig. 2. X-ray powder diffraction pattern of ocherous precipitates from the Osaeg hot spring water.

이 특징이라고 하였지만  $SO_4$ 의 함량은 10.88로 높은 값을 나타내지는 않는다. Cl의 경우 2.92로 일반 지표수와 비슷한 값을 나타내고  $SO_4$ 는 탄산 약수와 비슷한 값을 나타낸다.

#### 침전물

오색온천의 용출수가 흘러나오는 시추공 주변에는 많은 양은 아니지만 붉은색의 침전물이 바닥의 자갈에 코팅되어 있다. 침전물을 분리하여 그 특성을 알아보기 위하여 X-선 회절 분석, 쌍안실체현미경, 주사전자현미경 관찰을 하였다.

#### X-선 회절분석

붉은 색의 침전물 시료는 바닥의 자갈 표면에 붙어있는 시료를 채취하였다. X-선 회절 분

석 결과 침전물은 거의 비정질에 가까운 결정도가 아주 낮은 물질로 구성되어 있으며 외관상 붉은 색을 나타내는 것은 온천수에 포함된 철성분에 의한 철 산화/수산화광물의 형성에 의한 것으로 생각된다. 철 산화/수산화광물의 뚜렷한 회절선은 나타나지 않으나 결정도가 아주 낮은 철 수산화광물에서 관찰할 수 있는 회절선이 나타난다. 침전물을 구성하는 물질 중 결정질광물은 6.328 Å, 3.177 Å, 3.029 Å의 회절선을 나타내는 메셀라이트(Messelite)  $[Ca_2(Fe^{++}, Mn)(PO_4)_2 \cdot 2(H_2O)]$ 이며, 이 광물과 석영을 제외하면 거의 결정도가 낮은 광물 혹은 유기물에서 나타나는 회절선의 양상을 보여준 다(Fig. 2).

#### 전자현미경 관찰

침전물에 대한 전자현미경 관찰 결과 직경

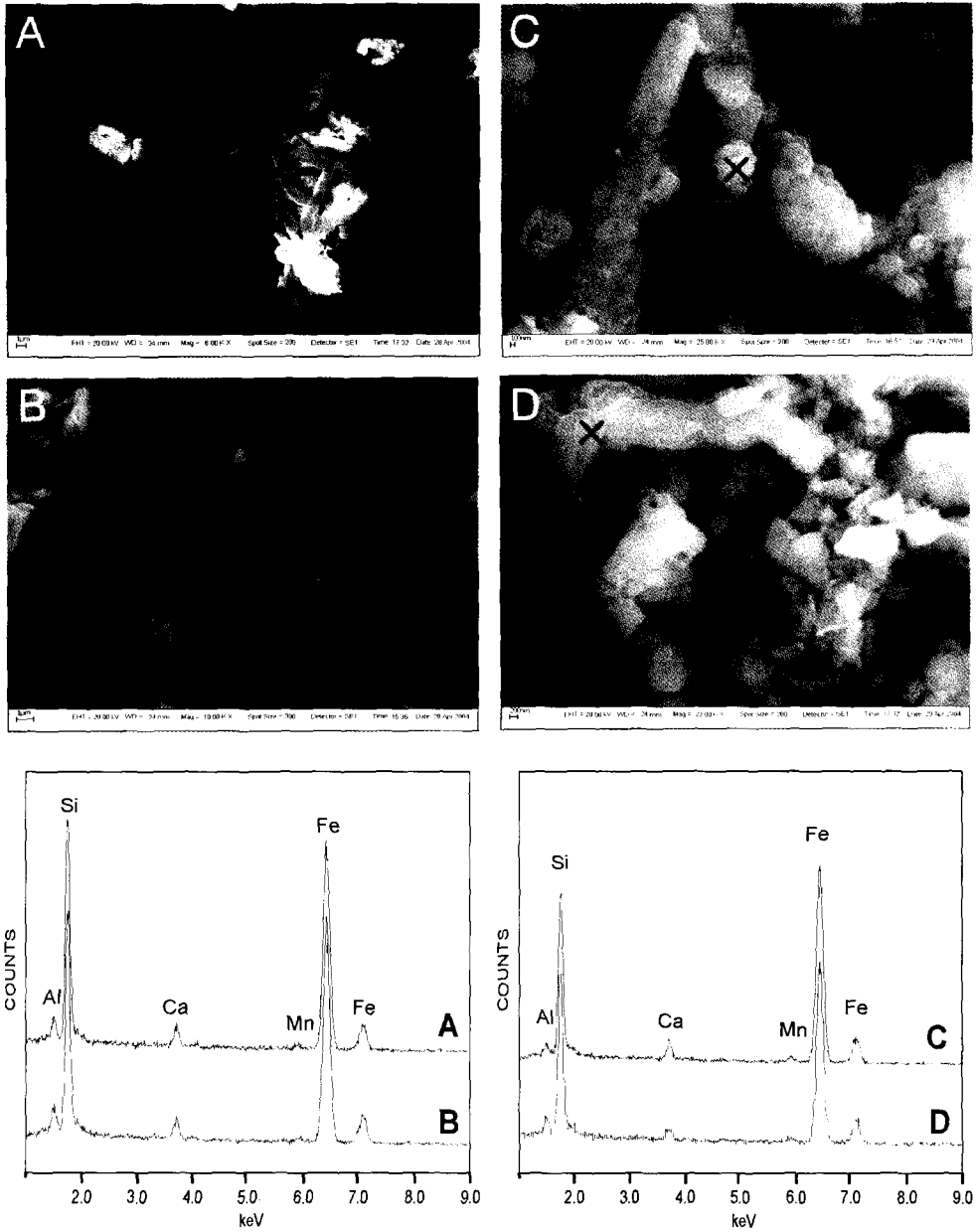


Fig. 3. SEM micrographs and EDS patterns of ocherous precipitates from the Osaeg hot spring water.

3~5  $\mu\text{m}$  정도의 구형 혹은 고리 형태와 10~20  $\mu\text{m}$  정도의 길이를 갖는 서로 교차하는 막대 형태로 나타나며 특정한 광물의 결정은 관찰할 수 없다(Fig. 3). X-선 회절분석에 의하면 이 침전물은 결정도가 아주 낮거나 비정질에 가까운 물질로 이루어져 있다. 온천수 배출구 부근에는

붉은색의 침전물이 형성되지만 온천수 내에 포함된 철분의 함량이 매우 낮다. 붉은색의 철 산화/수산화물이 생성되었음에도 불구하고 온천수 내의 Fe의 함량이 낮은 것은 침전물이 형성되면서 온천수로부터 Fe가 제거된 것으로 추정할 수 있다. 구형이나 막대 형태로 침전물에서

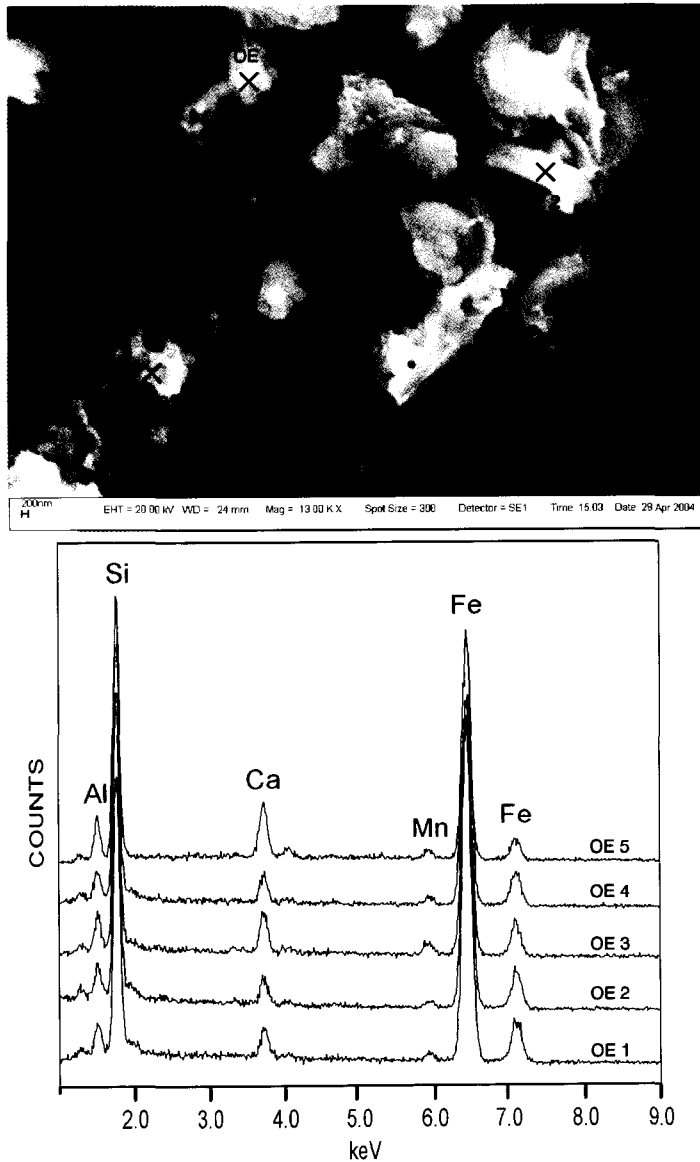


Fig. 4. SEM micrographs and EDS patterns of various forms of precipitates from the Osaeg hot spring water.

관찰되는 것들은 그 형태상으로 철산화물에서 관찰되는 박테리아와 비슷하다. EDS 분석결과 침전물의 성분은 약간의 Ca와 Mn을 포함하고 있지만 대부분 Si를 포함하고 있으며, Fe가 주요 구성 성분이다. X-선회절분석 결과 나타나는 인산염 광물인 메셀라이트는 관찰되지 않으며, EDS 분석결과에서도 인은 검출되지 않았다. 침전물의 형태는 다양하게 나타나지만 그 성분은

Fe, Si>>Al, Ca>Mn으로 큰 차이가 없다(Fig. 4). Si, Ca, Al은 시료에 포함된 규산염 광물에 의한 것으로 추정되며 붉은색 내지 검은색의 온천 침전물의 주 성분은 Fe와 Mn이다.

쌍안실체현미경 관찰  
침전물에 대한 쌍안실체 현미경 관찰 결과 침전물의 형태는 섬유상으로 얽혀 있거나 짧은

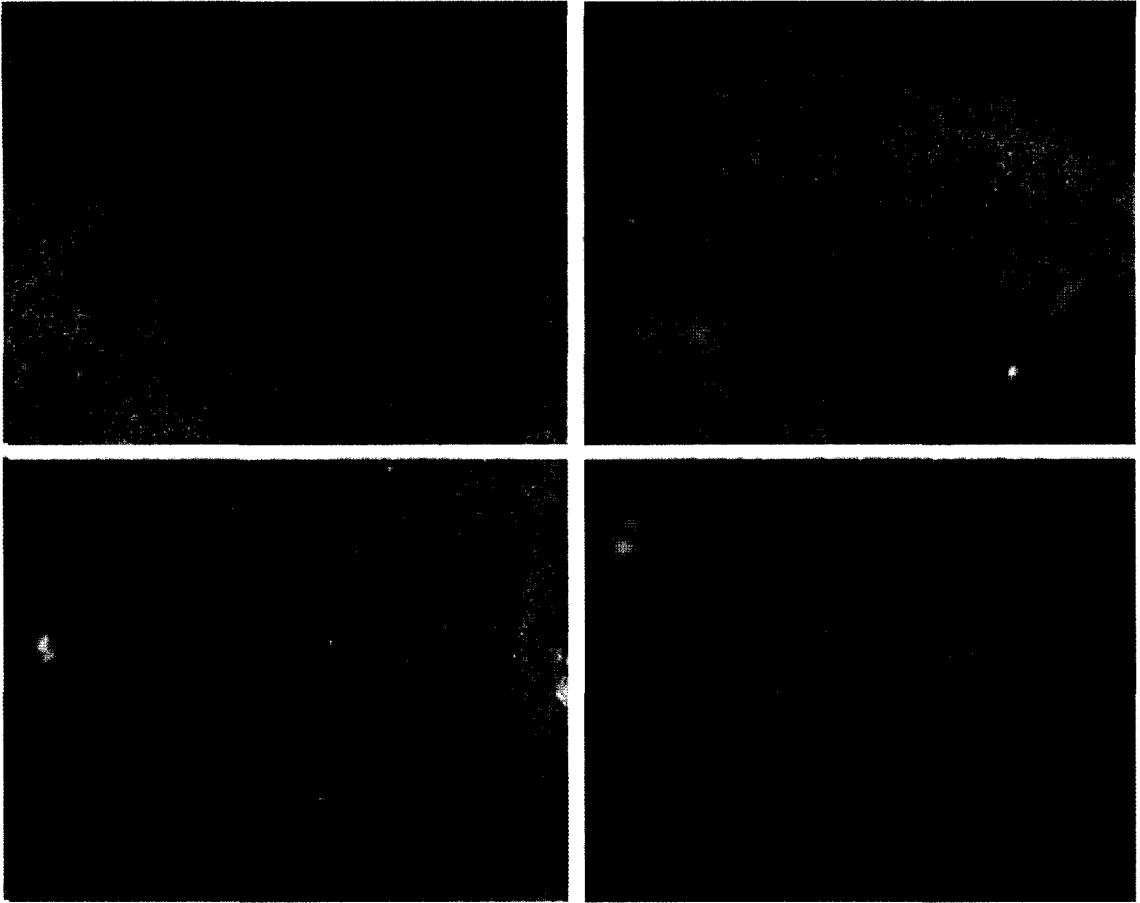


Fig. 5. Stereoscope micrographs of ocherous precipitates from the Osaeg hot spring water.

침상으로 산출된다(Fig. 5). 바닥이나 자갈에 침전된 침전물은 단단하게 부착되어 있기 때문에 쉽게 제거되지 않으며 시간에 따라 침전물의 양이 증가하는 경향은 보이지 않는다. 침전물의 색깔이 붉은색 혹은 검은색을 띠는 것은 광물 자체의 색깔 때문이 아니라 온천수 내에 포함된 Fe와 Mn 성분의 영향으로 침전물의 색깔에 영향을 주는 것으로 사료된다. 밝은 색을 나타내는 침상의 광물은 X-선회절분석 결과에서 알 수 있는 메셀라이트로 추정된다.

### 결 론

오색온천의 온천수는 지화학적 특성은 다른 남한의 온천과 비교했을 때 F의 성분이 높게 나타나는 것을 제외하면 큰 특이성을 나타내지

않는다. F의 값이 높게 나타나는 것은 주변에 있는 오색약수에서 이 성분이 높게 나타나는 것으로 보아 주변의 모암과 관련이 있는 것으로 추정된다. 오색온천 취수정 부근에는 온천수를 방출하는 배수구 주변에는 붉은색과 검은색의 침전물이 주면의 바닥이나 자갈에 코팅되어 있다. 침전물은 X-선회절분석 결과 대부분 비정질로 구성되어 있으며 결정질 광물은 함유인산염광물인 메셀라이트와 온천수 침전물과 무관한 외부로부터 공급된 석영이다. 침전물을 구성하는 주 구성 침전물에 대한 전자현미경 관찰 결과 구형과 막대형의 박테리아와 유사한 형태의 것이 발견되지만 X-선회절분석 결과에서 나타나는 메셀라이트의 결정은 발견되지 않는다. 침전물에서 관찰할 수 있는 막대모양, 구형 혹은 불규칙한 모양 등 다양한 형태가 나타

나지만 구성 성분은 Si, Fe>>Ca, Al>Mn으로 큰 차이를 나타내지 않는다. 붉은색 내지 검은색의 침전물의 성분은 대부분 Fe이며 약간의 Mn을 포함하고 있다.

### 참 고 문 헌

- 김건영, 고용권, 최현수, 김천수, 배대석 (2000) 중원 지역 탄산온천수의 탄산염 침전물에 관한 광물학적 및 지구화학적 연구. 한국광물학회지, 13, 22-36.
- 김계남, 김종훈, 김진세, 김천수, 안중성, 윤시태, 정찬호 (1989) 백암온천수의 환경동위원소 특성연구. 한국원자력학회지, 특별호, 475-482.
- 김규한, 최현정 (1998) 남한의 온천지역의 열수와 지하수의 지구화학적 연구. 지구과학학회지, 19, 22-34.
- 김도희 (1993) 우리나라 주요 온천의 수질특성과 유형분류에 관한 연구. 건국대학교 교육대학원 석사학위 논문, p. 22-24
- 김정진, 김윤영 (2002) 문경 탄산온천수의 지하학적 특성 및 침전물에 대한 광물학적 연구. 지하수토양환경학회지, 7, 45-52.
- 박규창 (1968) 한국온천의 화학적 연구. 온천과학, 18, 22-24.
- 최상근 (1988) 우리나라 온천수의 특성에 관한 연구. 연세대학교 산업대학원 석사학위 논문, p. 32-41.
- Dandurand, J.L., Gout, R., Hoefs, J., Menschel, G., Schott, J. and Usdowski, E. (1982) Kinetically controlled variations of major components and carbon and oxygen isotopes in a calcite - precipitating spring. Chem. Geol., 36, 299-315.
- Deines, P. and Langmuir, D. (1974) Stable carbon isotope ratios and the existence of a gas phase in the evolution of carbonate ground waters. Geochim. Cosmochim. Acta, 38, 1147-1164.
- Dreybrodt, W., Buhmann, D., Michaelis, J. and Usdowski, E. (1992) Geochemically controlled calcite precipitation by CO<sub>2</sub> outgassing: Field measurements of precipitation rates in comparison to theoretical predictions. Chem. Geol., 97, 285-294
- Herman, J. and Lorah, M.M. (1987) CO<sub>2</sub> outgassing and calcite precipitation in Falling Spring Creek, Virginia, U.S.A. Chem. Geol., 62, 252-262.
- Michaelis, J., Usdowski, E. and Menschel, G. (1985) Partitioning of <sup>13</sup>C on the degassing of CO<sub>2</sub> and the precipitation of calcite - Rayleigh-type fractionation and a kinetic model. Am. Jour. Sci., 285, 318-327.
- Usdowsky, E., Hoefs, J. and Menschel, G. (1979) Relationship between <sup>13</sup>C and <sup>18</sup>O fractionation and changes in major element composition in a recent calcite-depositing spring - A model of chemical variations with inorganic CaCO<sub>3</sub> precipitation. Earth Planet. Sci. Let., 42, 267-276.

---

2004년 6월 4일 원고접수, 2004년 6월 14일 게재승인.