

한반도 온천수의 수리화학 및 영족기체 기원 : 대전-충청지역을 중심으로

정찬호, 박지선*, K.Nagao*, H.Sumino*, 김규한**

허순도***, 이종익***, 고용권****, 박충화

대전대학교 지구시스템공학과, *동경대학교 지진화학연구소,

이화여자대학교, *한국해양연구원 ****한국원자력연구원 (chjeong@dju.ac.kr)

<요약문>

The purpose of this research is to investigate the noble gas isotope and the hydrochemical characteristics of hot springs in the Chungcheong area in Korea. This study was carried out by the financial support of Korea-Japan joint research program of KOSEF, Noble gases are very useful tracers to investigate volatile elements circulation, because of their unique isotopic compositions in various reservoirs of the Earth. Isotopic ratios of noble gases has been carried out for 16 hot-spring samples from Daejeon and its near areas in Korea last January 2004. Helium isotope ratio gave the evidence that helium gas of different origins(air-crust mixing origin, crust-origin and mantle-origin) is supplied into hot-spring waters in Korea. We found the distinct relationship between temperature of hot springs and helium gas origin.

key word : hot-spring, noble gas, mantle, crust

1. 서론

해양판의 섭입 깊이가 매우 깊은 동해와 대륙지역에 속하는 한반도에서는 온천수에 대한 노블가스 동위원소 연구가 전무한 실정이다. 본 연구에서는 노블가스 동위원소 조성을 측정하고, 한반도에서 맨틀 혹은 심부지각으로부터 유래된 휘발성원소의 존재도를 추적하고자 한다. 이를 통하여 온천유형별 생성 환경의 규명과 열원의 추적이 가능할 것이다.

더 나아가 심부로부터 운반된 휘발성원소의 비율과 유출정도를 구하고, 섭입대로부터 비교적 멀리 떨어진 한반도에서의 휘발성원소의 물질 순환 기구를 이해하고자 한다. 또 섭입대와 가까운 일본열도 자료와 비교해 섭입대 주변(또는 대륙연변부)에서의 광역적인 휘발성원소 순환과정을 알아보하고자 한다. 헬륨가스와 같은 영족기체(noble gas) 동위원소 분석은 국내 온천연구에서 지금까지 적용된바가 없는 국내 최초의 연구이다.

그림 1은 태평양 및 필리핀 해 지각판이 일본열도 아래로 침강하는 것으로, 이 침강 깊이가 100km를 넘는 화산 열선(volcanic front)가 형성되어 있다. 일본 열도의 화산온천 활동은 이 화산열선보다 깊은

곳에 호상열도에서 일어나고 있으며, 맨틀로부터 용출되어 나오는 영족기체는 화산가스와 더불어 온천 가스 속에서 검출되고 있다. 지구 표층과 내부에 걸친 휘발성 원소의 물질 순환 과정 연구에 있어서, 영족기체에 대한 연구는 매우 중요한 부분을 차지한다. 그 실례로서 각기 다른 세 구조 (대기, 지각, 상부맨틀)의 헬륨 원소가 각기 다른 비율로 혼합되어 있는 동위원소의 변화를 그림 2에서 보여준다.

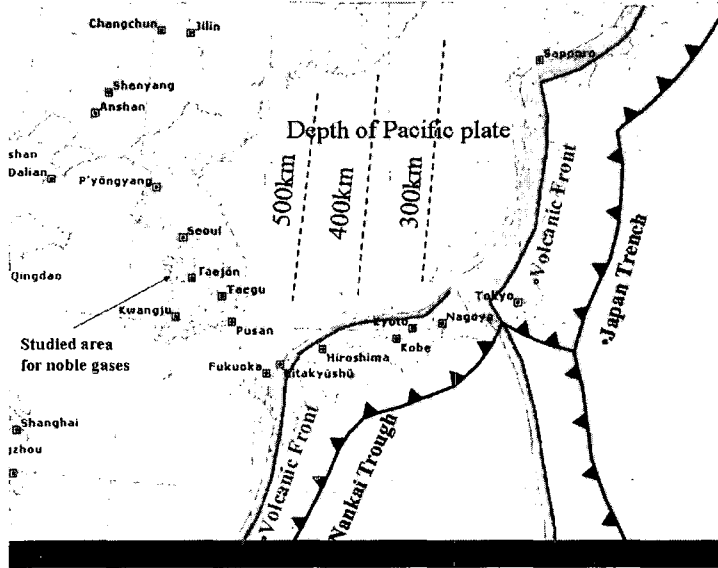


그림 1. 태평양 판과 필리핀해 판의 섭입지역과 volcanic front(황색)와 한반도의 연구지역(충청지역) : 온천수의 수리화학적 및 영족기체 동위원소 분석을 위해 온천수 채취 지역.

2. 연구방법

충청지역의 9개 온천지구에서 16개 온천수와 가스시료를 채취하였다. 온천수에 대한 현장수질(pH, Eh, 전기전도도, 용존산소, 온도)을 측정하였다. 양이온성분과 미량원소 성분은 유도결합쌍 플라즈마 원자방출분광분석기(Shimadzu 모델 ICPS-1000 III, ICP-AES)와 유도결합쌍 플라즈마 질량분석기(Fison model PQ III, ICP-mass)로 분석하였다. 음이온 성분인 SO_4 , Cl, NO_3 , F 등은 이온크로마토그래피(Dionex 120i)로 분석하였다. 노블가스 분석용 시료는 특수 제작된 진공용기를 이용하여 지하수공으로부터 직접 가스시료를 채취하였다. He, Ne, Ar의 동위원소비와 모든 노블가스(He, Ne, Ar, Kr, Xe)의 원소적 함량은 동경대학교 지진화학 연구실의 질량분석기(MS-III)를 이용하여 측정되었다. 동위원소 질량분석에 대한 자세한 절차는 Aka et al. (2001)에 의해 제시되어있다.

3. 연구결과 및 토의

충청지역 연구대상 온천공은 성분상 특성별로 구분하면 알카리성 단순온천(유성온천, KAERI온천, 온양온천, 아산온천), 유황온천(문강온천, 도고온천, 능암온천), 탄산-유황온천(능암온천)등으로 구분된다. 수리화학적 특성을 보면 능암탄산온천을 제외한 온천은 pH 7.6-9.8 범위의 약알카리성에서 알카리성의 특성을 보이며, 능암온천은 pH 6.3의 약산성을 보인다. 온천수의 전기전도도를 보면 능암온천의 경우 2780 $\mu S/cm$ 으로 상당히 높은 값을 보이고, 다른 온천수는 224-495 $\mu S/cm$ 범위를 보인다. 파이퍼도상에 도시한 온천수의 화학적 유형을 보면 Ca- HCO_3 형에서 Na- HCO_3 형의 영역에 분포한다. 같은 온천지역에서 채취한 온천수의 경우에도 다른 수리화학적 영역에 도시되는 경우도 있다.

그림 2는 상세한 연구가 행해지고 있는 일본의 헬륨 동위원소비율과 지각판의 깊이 및 화산활동 지역과의 연계성을 보여주고 있다. 상부맨틀 기원 헬륨과 MORB형은 화산 열선으로 부터 호상열도에 걸쳐 용출되고 있으며, 특히 화산활동이 활발한 지역에 현저히 나타난다. 이에 반해, 화산열선에서 지각판이 침강해 들어가는 해구쪽의 비화산 지역에서는 맨틀 기원의 영족기체의 용출은 잘 나타나지 않고 헬륨 동위원소비 ($^3\text{He}/^4\text{He}$)는 맨틀 헬륨에 비해 낮은 수치를 나타낸다. 이는 지각속에 축적되어 있는 우라늄, 토륨의 붕괴에 의한 ^4He 의 함량이 심부 맨틀로부터 기원하는 헬륨비에 비하여 많이 용출되고 있는 것을 의미한다. 이와 같이 헬륨 동위원소비는 판의 섭입 깊이, 화산 활동과 명료한 관련이 있으며 맨틀과 지각으로부터 지표에 방출되는 휘발성 원소의 경향을 알아내는 중요한 지표로 이용된다(Ikeda, et al., 2001; Kusakabe et al., 2003).

지금까지의 일본 열도에 걸친 영족기체 연구자료는 호상열도에 따라 한정되어 있고 지각판의 깊이가 거의 같은 곳으로, 지각 판의 깊이가 크게 다른 동해와 한반도에 걸친 영족기체 동위원소 자료는 한반도 남쪽에 위치한 제주도의 화산암의 일부자료를 제외하고는 아직 없는 실정이다.

그림 2은 헬륨가스의 기원지로 대기, 지각, 맨틀 3곳의 단성분의 동위원소 조성을 가정한 모델계산을 하였고, 이번 연구에서 채취된 온천수내 영족기체의 동위원소 값을 도시한 것이다. 헬륨 동위원소 중 ^4He 은 대기기원 He의 기여가 비교적 큰 5개 온천시료(아산온천, 덕산온천, 능암탄산온천, KAERI온천)를 제외하고는 80% 이상이 지각암석으로부터 온 것을 알 수 있다. 그러나, 지각 물질 중의 존재도가 극히 적은 ^3He 의 경우에는 8개 시료가 ^3He 의 90%이상이 상부맨틀로부터 공급된 것이다. 일본열도와 비교하면 헬륨 동위원소비가 상대적으로 낮지만, 맨틀기원의 헬륨이 온천수에 공급되어져 있는 것을 알 수 있다. 네온, 아르곤 등의 동위원소 조성도 고려해보면 이와 같은 온천수의 대부분이 대기와 차단된 상태에서 지하 깊은 곳에서 저류층의 암석으로부터 나온 영족기체를 함유하고 있다. 이와 같이 온천수내 영족기체의 분석을 통하여 맨틀기원의 헬륨가스가 온천수에 용해되어 있다는 사실은 국내에서 최초로 보고되는 것이다. 이 자료는 국내 온천수의 열원의 해석, 온천수의 생성과정을 이해하는데 활용될 것이다.

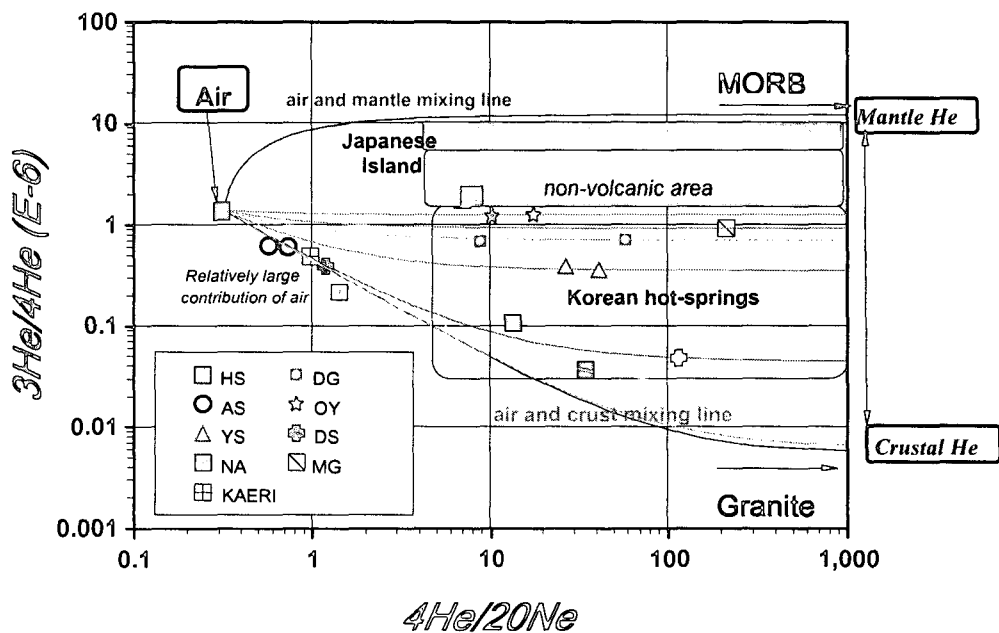


그림 2. 대전-충청지역에서 채취된 온천수의 헬륨 동위원소비와 일본온천의 헬륨 동위원소비. (HS-홍성온천, DG-도고온천, AS-아산온천, OY-온양온천, YS-유성온천, DS-덕산온천, NA-능암온천, MG-문강온천, KAERI-대전온천)

4. 결론

향후 한반도 전역에 걸친 온천수 조사를 실시하여 지하심부로부터 유출되어 나오는 휘발성원소의 비율과 양을 측정하며, 맨틀로부터의 휘발성 원소 유출을 유발하는 화성활동의 정도와 지역적 관련을 분명히 함과 동시에, 지각판 섭입지역에서 비교적 멀리 떨어진 한국지역의 지하 심부에서의 휘발성 원소의 경향을 심도 있게 이해할 수 있을 것이다. 아울러 얻어진 영족기체 자료는 일본의 온천 연구 결과와 검토하여 국내 온천의 성인 및 지열시스템에 대한 명료한 설명이 가능할 것으로 판단된다.

사사

이 연구는 과학재단의 한일공동연구(과제번호 F01-2004-000-10189-0)의 연구비 지원으로 추진되었다.

참고문헌

- Aka, F.T., Kusakabe, M., Nagao, K. and Tanyileke, G., (2001) Noble gas isotopic compositions and water/gas chemistry of soda springs from the islands of Bioko, So Tom and Annobon, along with Cameroon Volcanic Line, West Africa. *App. Geochem.*, 16, 323-338.
- Ikeda, Y., Nagao, K. and Kagami, H., (2001) Effects of recycled materials involved in a mantle source beneath the southwest Japan arc region: evidence from noble gas, Sr, and Nd isotopic systematics. *Chem. Geol. (Isotope Geosci.)*, 175, 509-522.
- Kusakabe M., Ohwada M., Satake H., Nagao K. and Kawasaki I., (2003) Helium isotope ratios and geochemistry of volcanic fluids from the Norikura Volcanic Chain, central Japan: Implications for crustal structures and seismicity. *Society of Economic Geologists*, 10, 75-89.