신보광산 주변지역의 지질구조와 우라늄 지화학 이상대

강지훈* · 이덕선

안동대학교 지구환경과학과

Geological Structures and Geochemical Uranium Anormal Zone Around the Shinbo Mine, Korea

Ji-Hoon Kang* and Deok-Seon Lee

Department of Earth and Environmental Sciences, Andong National University, Andong, Gyeongsangbuk-do 760-749, Korea

This paper examined the characteristics of ductile and brittle structural elements with detailed mapping by lithofacies classification to clarify the relationship between the geological structure and the geochemical high-grade uranium anormal zone and to provide the basic information on the flow of groundwater in the eastern area of Shinbo mine, Jinan-gun, Jeollabuk-do, Korea. It indicates that this area is mainly composed of Precambrian quartzite, metapelite, metapsammite, which show a zonal distribution of mainly ENE-WSW trend, and age unknown pegmatite and Cretaceous porphyry which intrude them. But the Cretaceous Jinan Group which unconformably covers them, contrary to assumption, could not be observed. The main ductile deformation structures of Precambrian metasedimentary rocks were formed at least through three phases of deformation [ENE striking regional foliation (D1) -> ENE or EW striking crenulation foliation (D2) -> WNW or EW trending open, tight, kink folds (D3)]. The predominant orientation of S1 regional foliation strikes ENE and dips south, being similar to the zonal distribution of Precambrian metasedimentary rocks. Most predominant orientation of high-angled brittle fracture (dip angle $\geq 45^\circ$) [ENE (frequency: 24.3%) > NS (23.9%) > (N)NW (18.8%) > WNW (16.9%) > NE (16.1%) fracture sets in descending frequency order], which is closely related to the flow of groundwater, strikes ENE and dips south. It also agrees with the zonal distribution of metasedimentary rocks and the predominant orientation of S1 regional foliation. The next one strikes NS and dips east or west. Considering the controlling factor of the geochemical uranium anormal zone in the Shinbo mine and its eastern areas from the above structural data, the uranium source rock in these areas might be pegmatite and the geochemical uranium anormal zone in the Shinbo mine area could be formed by a secondary enrichment through the flow of pegmatite aquifer's groundwater into the Shinbo mine area like the previous research's result.

Key words : Shinbo mine, geochemical high-grade uranium anormal zone, geological structure, fracture system, pegmatite

본 논문은 전라북도 진안군 신보광산의 동부지역에서 고품위 우라늄 지화학 이상대와 지질구조 사이의 상관관계를 규명하고 지하수 흐름에 대한 기본적인 정보를 제공하기 위해 암상구분에 의한 상세한 지질도를 작성하고 이들 구성 암류에 발달하는 연성 및 취성 구조요소의 특성을 파악하였다. 그 결과, 이 지역은 주로 동북동-서남서 방향으로 대상 분포를 보이는 선캠브리아기 규암, 변성이질암, 변성사질암과 이를 관입하는 시대미상의 페그마타이트와 백악기 반암류 등으로 구분되고, 추정과 달리 이들 암상을 부정합으로 피복하는 백악기 진안층군은 관찰되지 않았다. 선캠브리아기 변성퇴적암류의 주요 연성 변형구조는 적어도 세 번의 변형단계 [동북동 방향성의 광역엽리 (D1) -> 동북동 내지 동서 방향성의 파랑엽리 (D2) -> 서북서 내지 동서 방향성의 개방, 밀착, 키크 습곡 (D3)]를 걸쳐 형성되었고, S1 광역엽리의 방향성은 선캠브리아기 변성퇴적암류의 대상 분포 방향과 유사한 동북동 주향에 남쪽으로 경사하는 것이 우세하게 나타난다. 지하수의 유동과 밀접한 관련성 있는 취성 고각 단열 (경사각 $\geq 45^\circ$)의 방향성[동북동 (출현빈도: 24.3%), 남북 (23.9%), (북)북서 (18.8%), 서북서 (16.9%), 북동 (16.1%) 단열조 순]은 변성퇴적암류의 대상 분포 방

*Corresponding author: jhkang@andong.ac.kr

향성 및 S1 광역엽리의 우세 방향성과 일치하는 동북동 주향에 남쪽으로 경사하는 것이 가장 우세하게 나타나고 남북 주향에 동서 방향으로 경사하는 것이 다음으로 우세하게 나타난다. 상기된 선캠브리아 변성퇴적암류의 대상 분포 방향성과 S1 광역엽리 및 고각 단열의 우세 방향성 등으로부터 신보광산과 그 동부지역의 우라늄 지화학 이상대의 형성요인을 고찰해 볼 때 이들 지역에서 기대되는 우라늄의 초생적인 근원암은 기존연구 결과와 같이 페그마타이트이며 광산지역의 우라늄 지화학 이상대는 이를 대수층으로 하는 지하수가 광산지역으로 통과하면서 이차적으로 부화되었을 가능성이 높다고 판단된다.

주요어 : 신보광산, 고품위 우라늄 지화학 이상대, 지질구조, 단열계, 페그마타이트

1. 서 론

전라북도 진안군 부귀면 신보광산과 그 동부지역에서 고품위 우라늄 지화학 이상대가 보고된 바가 있다(Seo *et al.*, 1986; Oh *et al.*, 1989; Chung *et al.*, 1998; Na *et al.*, 2000). 그러나 우라늄 이상대의 형성 기원에 대한 이들 연구결과는 서로 다르고 기대되는 구조선대에서 우라늄 광화대는 아직까지 확인된 바가 없다(Oh *et al.*, 1989). 신보광산 및 주변 지역에는 초기 우라늄 흡착 및 환원작용에 기여하는 흑연질 편암과 백운암질 석회암이 분포하고 있기 때문에 이 지역에는 고농도의 우라늄 광체가 존재할 가능성이 높은 것으로 알려져 왔다(Seo *et al.*, 1986; Oh *et al.*, 1989). 그러나 고품위 우라늄 광체가 존재할 가능성이 높은 구성 지층들에 대한 정밀 지질조사를 통하여 암상구분에 의한 상세한 지질도를 작성하고 이들 구성 지층이 경험한 변형단계별 암석구조와 고농도 우라늄 광체를 규제하는 지질구조를 규명하는 구조지질학적 연구는 지금까지 수행된 바가 없다.

신보광산의 향내수와 주변지역의 지하수와 지표수에 관한 수리화학 및 동위원소적 특성을 중심으로 하는 함 우라늄 대수층의 지화학적 연구는 Chung *et al.*(1998)과 Na *et al.*(2000)에 의해 수행된 바가 있다. 이들은 이들 연구를 통하여 우라늄의 초생적인 근원암은 화강암질암 내지 페그마타이트질 맥암이며 신보광산 지역의 고품위 우라늄 지화학 이상대는 화강암질암 내지 페그마타이트질 맥암을 대수층으로 하는 수계를 통해 이동하는 우라늄이 광산지대를 통과하면서 흑연질 편암내의 유기물질에 흡착 고정되는 이차적인 부화작용으로 형성되었을 가능성을 제시하고 신보광산 동부지역에서 우라늄의 함량이 높은 심부 관정 지하수를 보고한 바가 있다. 그러나 지하수 유동과 관련된 불연속면의 특성에 대한 연구는 신보광산과 그 주변지역에서 지금까지 수행된 바가 없다.

따라서 본 연구는 이러한 구성 지층들이 분포하고

높은 우라늄 함량의 심부 지하수 관정이 위치하는 신보광산 동부지역에서 고품위 우라늄 광체를 규제할 지질구조를 규명하기 위해 기존 연구와 달리 정밀한 야외지질조사를 실시하여 암상구분과 지질구조에 의한 상세한 지질도를 작성하고 이들 구성암류에 대한 변형단계별 구조적 특성을 파악하였다. 또한 유체 흐름에 대한 기본적인 정보를 제공하기 위해 이들 구성암류에 발달하는 규칙 단열계(fracture system)의 방향성 특성을 파악하였다. 여기서는 현재까지의 연구결과를 보고하고 그 연구결과를 기존 연구결과와 비교·종합하여 신보광산과 그 동부지역에서 기대되는 우라늄의 초생적인 근원암과 지화학 이상대의 형성요인을 고찰해 보고자 한다.

2. 지질 및 암상기재

신보광산은 전주시에서 동쪽으로 약 18 km, 진안읍에서 서쪽으로 약 12 km 지점에 위치한다. 연구지역은 옥천변성대의 남서부에 위치하고 1: 50,000 전주-진안 지질도폭(Shimamura, 1924)의 북부 일부 영역을 점하고 있으며 신보광산의 동부에 위치한다(Fig. 1). 정밀한 야외지질조사와 함께 암상구분과 지질구조를 바탕으로 상세한 지질도를 작성한 결과, 연구지역의 구성암류는 기존 연구와 달리 주로 동북동-서남서 방향으로 대상 분포를 보이는 선캠브리아기 변성퇴적암류(규암, 변성이질암, 변성사질암)와 이를 관입하는 시대미상의 페그마타이트 그리고 이들을 관입하는 백악기 반암류로 구분되고, 이들을 부정합으로 피복하는 백악기 진안층군(Shimamura, 1924)은 관찰되지 않는다(Fig. 2).

연구지역의 북부에 주로 분포하는 규암은 변성이질암을 부분적으로 협재하고 주변부의 백악기 반암류에 의해 관입 접촉되어 있다(Fig. 2). 규암은 야외에서 유백색 내지 핑크색으로 나타나고 연속성이 우세하다. 변성이질암은 연구지역의 중부와 남부에서 주로 동북동-서북서 방향으로 대상 분포한다(Fig. 2). 지질도 규모에

Fig. 1. (a) Index map showing the tectonic locality (arrow mark) of the study area. B: Bonghwa, Bo: Boeun, C: Chungju, G: Gwangju, Ga: Gangneung, Je: Jeonju, M: Mungyeong, Mo: Mokpo, O: Ogcheon, P: Pyeongchang, S: Sunchang, Se: Seoul, W: Wando, Y: Yecheon, Ye: Yeongkwang, GGM: Gyeonggi massif, OCZ: Ogcheon zone, TBSZ: Taebaeksan zone, YNM: Yeongnam massif, GSB: Gyeongsang basin [modified from Chawee *et al.*(1995)]. (b) Topographic map representing the localities of the Sinbo Talc Mine, the study area and the deep groundwater(★) of Chung *et al.*(1998) and Na *et al.*(2000).

서 변성사질암을 협재하거나 변성사질암에 협재되어 산출하고 노두 규모에서 변성사질암과 교호하며 산출한다. 변성사질암은 엽리의 발달정도, 구성광물의 종류 및 조직 등에 의해 주로 반상변정질 혹은 편암과 천매암으로 구분되고 부분적으로 활석편암과 흑연질 편암으로 구분된다. 연구지역의 변형된 암석구조를 대표하는 선구조, 면구조, 습곡구조 등은 변성사질암에서 탁월하게 관찰된다. 거정질 페그마타이트에 접촉 변성된 변성사질암에는 홍주석과 규선석 등의 접촉변성광물이 관찰된다. 변성사질암은 일정한 두께를 갖고 변성사질암과 호층을 이루며 연구지역의 북부, 중부, 남부에서 산출한다(Fig. 2). 주로 세립질 내지 중립질로 되어 있으며 조립질 변성사질암도 종종 관찰된다. 엽리의 발달이 미약하거나 없는 괴상의 형태로 주로 산출하고 입도 세립화와 함께 압쇄암화작용이 진행된 변성사질암도 부분적으로 관찰된다. 변성퇴적암류를 관입하는 거정질 페그마타이트는 연구지역의 남부에 주로

Fig. 2. Geological map of the study area and its profile sections. Star mark: the sampling site of deep groundwater of Chung *et al.*(1998) and Na *et al.*(2000).

분포하고 중부와 북부에서는 산발적으로 분포하며 산출 규모와 상관없이 연구지역에서 광범위한 분포를 보인다(Fig. 2). 페그마타이트는 엽리가 발달되어 있지 않으며 거정의 장석이 육안으로 관찰된다. 반암류는 연구지역의 북부와 중부에 주로 분포하고 남부에 산발적으로 분포하며 연구지역의 모든 구성암류를 관입한다(Fig. 2). 반암류는 주로 장석반암으로 인지되고 부분적으로 규장암 내지 석영 반암으로 산출하며 주로 장석과 석영을 반정으로 한다.

3. 지질구조

연구지역의 지질구조는 모든 구성암류에 발달하는 2~6 개의 규칙 단열조와 선폼브리아기 변성퇴적암류에서 인지되는 엽리, 선구조, 습곡 등이 있다. 습곡은 1차 등사습곡, 2차 비대칭 습곡, 3차 개방, 밀착, 킹크(kink) 습곡 등으로 구분된다. 선구조는 신장선구조와 파랑선구조로 구분된다. 엽리는 등사습곡의 측면 엽리에 해당하는 광역엽리와 파랑습곡의 측면엽리에 해당하는 파랑엽리로 구분된다. 이러한 암석구조는 변성사질암에서 주로 관찰되고 기존 연구결과와 달리 연구지역에는 다양한 암석구조들이 중첩되어 나타난다. 지

질도상에서 인지되는 주요 단층은 규암의 상부면에 발달한다(Fig. 2). 이 단층은 연구지역의 북부에서 규암과 변성사질암의 경계면을 절단하고 백악기 반암류에 의해 관입되어 그 연속성이 단절된다. 동북동 방향으로 발달하는 이 단층의 연장은 1: 1,000,000 한국지질도 (Chwae *et al.*, 1995)에서도 인지된다.

3.1. 변형단계별 연성변형의 구조적 특성

중첩된 주요 연성 변형 암석구조들의 기하학적 특성과 선후관계로부터 변형단계별 구조요소를 연구한 결과, 선크브리아기 변성퇴적암류의 암석 및 지질구조는 편마구조 내지 편리가 형성된 이후에 적어도 세 번의 변형단계를 걸쳐 형성되었음을 알게 되었다. 따라서, 통상적으로 층리를 S0 라고 표기하나 본 논문에서는 편마구조 내지 편리를 편의상 S0 엽리라고 표현하고 세 번의 변형단계를 그 상대적인 발달순서에 따라 D1, D2, D3 변형 등으로 구분하여 연구지역의 변형단계별 연성변형의 구조적 특성을 기재하고자 한다.

D1 변형: D1 변형구조는 S0 엽리가 습곡되어 형성된 F1 습곡과 그의 측면엽리에 해당하는 S1 광역엽리 그리고 S1 엽리면상에 신장된 석영이나 흑운모 집합체들의 정향배열에 의해 정의되는 L1 신장선구조 등으로 인지된다(Fig. 3). S1 엽리의 방향성은 변성퇴적암류의 대상 분포방향과 거의 유사한 동북동 주향에 남남서쪽으로 경사하는 것이 가장 우세하게 나타나고 북동 주향에 남동 경사, 북서 주향에 남서 경사, 남북 주향에 동서 방향으로 경사하는 것이 부분적으로 나타난다(Figs. 4 and 5a, 5b). L1 신장선구조는 S1 엽리면상에 사교 내지 경사 방향으로 발달하고 남서 방향으로 중각 침강하는 방향이 우세하게 나타난다(Figs. 4 and 5c). F1 습곡은 매우 밀착된 등시습곡 형태로 나타나고 S0 엽리가 F1 습곡의 측면엽리로 완전히 전위된 층간습곡

(intrafolial fold) 내지 뿌리없는 습곡(rootless fold) 형태로도 종종 인지되므로 F1 습곡을 야외에서 인지하기 위해서는 매우 신중한 관찰이 요구된다(Fig. 6a).

D2 변형: S1 광역엽리와 F1 습곡을 (재)습곡 시키는 F2 습곡은 준 수평적인 습곡축을 갖는 주로 (비)대칭 개방 내지 밀착 습곡 형태로 관찰되고(Fig. 6a and 6b), 종종 매우 밀착된 등시습곡 형태로도 관찰된다. F2 습곡은 S1 광역엽리가 주름져 형성된 파랑습곡을 일반적으로 수반한다. 매우 밀착된 F2 습곡에서 F2 (파랑)습곡의 측면엽리에 해당하는 S2 (파랑)엽리는 S1 광

Fig. 3. Outcrop photographs of major D1 structures in the study area. (a) S1 regional foliation. (b) L1 stretching lineation.

Fig. 4. Orientation of D1 structural elements.

Fig. 5. (a) Stereogram (density map) of poles to S1 regional foliation (lower-hemisphere equal-area projection, N=170 and contours at 2-4-6-8% per 1% of area), (b) rose diagram of S1 regional foliation, and (c) stereoplot of L1 stretching lineation in the Precambrian metasedimentary rocks (lower-hemisphere equal-area projection, N=14 and contours at 4-8-12-16% per 1% of area).

Fig. 6. Outcrop photographs of major D2 structures in the study area. (a) F2 fold overprinting F1 fold. (b) F2 subhorizontal upright fold. (c) S2 crenulation foliation and L2 crenulation accompanied by F2 folding. Ap: Axial plane.

엽리의 완전히 전위된 S1-2 복합엽리로 나타나고 이러한 파랑습곡은 변성이질암에서 주로 관찰된다(Fig. 6c). S2 (파랑)엽리의 방향성은 주로 동북동 내지 동서 주향에 남남동과 북북서 내지 남북으로 경사하고 S1 광역엽리의 방향성과 유사하게 나타난다(Figs. 7 and 8a, 8b). F2 (파랑)습곡의 축에 해당하는 L2 (파랑)선구조는 S2 엽리의 사교 방향과 주향 방향에 해당하는 서남서 방향과 동북동 방향으로 저각 침강하는 방향성을 보인다(Figs. 7 and 8c).

D3 변형: F3 습곡은 개방, 밀착, 킥 습곡 등 다양한 형태로 관찰된다(Fig. 9). F3 습곡의 측면엽리에 해당하는 S3 엽리의 방향성은 서북서 내지 동서 주향에 남남서 내지 남쪽으로 38° 이상의 중각 내지 고각으로 경사하고 F3 습곡축에 해당하는 L3 선구조는 S3

엽리의 사교 내지 경사 방향에 해당하는 남동 내지 남서 방향으로 중각 침강한다(Fig. 7). 연구지역에서 D1 및 D2 변형과 관련된 암석구조는 광역적으로 관찰되는 반면에 D3 변형과 관련된 암석구조는 지역적으로 발달하고 이전에 형성된 동북동-서북서의 대상 분포 방향을 부분적으로 재배열시킨다(Figs. 4 and 7).

3.2. 단열계의 방향성 특성

규칙 단열조(fracture set)의 배열 방향, 우세 방향성, 출현빈도 등을 파악하기 위해 총 173 개 노두에서 각 노두당 2~6 개의 규칙적인 우세한 단열조를 선정하여 각 단열조의 대표적인 방향성을 정밀하게 측정하였다. 측정결과는 전체 단열과 고각 단열(경사각 $\geq 45^\circ$)과 저각 단열(경사각 $< 44^\circ$)로 각각 구분하여 분석하였다. 단

Fig. 9. Outcrop photographs of major D3 structures in the study area. (a) F3 fold overprinting F1 and F2 folds. (b) F3 open fold. (c) F3 tight fold. Ap: Axial plane.

Fig. 10. (a) Stereogram (density map) of poles (lower-hemisphere equal-area projection, N=529 and contours at 1-2-3-4% per 1% of area), and (b-c) rose diagrams and grouping (I, II, III, IV, V) to all fracture sets [(b) dip angle $\geq 45^\circ$ and (c) dip angle $< 45^\circ$].

Fig. 11. Frequency distribution to fracture sets of each group (I, II, ...). (a) Dip angle $\geq 45^\circ$. (b) Dip angle $< 45^\circ$.

와 N81°W/30°SW로 나타난다. II 그룹(21.8%)은 N50°~79°E 주향 범위의 동북동 방향 단열로서 평균 방위는 N65°E/38°SE와 N61°E/30°NW로 나타난다. III 그룹(18.6%)과 IV 그룹(14.0%)은 각각 N10°~49°E 주향 범위의 (북)북동 방향 단열과 N21°~60°W 주향 범위의 북서 방향 단열로 나타나고, 가장 출현빈도가 낮은 V 그룹(11.4%)은 N20°W~NS~N09°E 주향 범위의 남북 방향 단열로 나타난다. 고각 단열의 대부분(48.2%)은 동북동 방향의 I 그룹과 남북 방향의 II 그룹의 방향 절리로 나타나고 저각 단열의 경우에는 서북서 방향의 I 그룹 방향 단열의 출현빈도(34.2%)가 탁월하게 나타난다.

4. 고 찰

Seo *et al.*(1986)은 전주~진안 일대의 표사와 하천수에 대한 광역 지화학 선행 탐사와 신보광산의 항내 암석 및 퇴적물 그리고 항내수 및 주변 지하·지표수계를 대상으로 보완 지화학탐사를 통하여 신보광산의 개항 서남부에 고품위 우라늄 지화학 이상대를 보고하고 이에 대한 보다 정밀한 지화학탐사를 요구한 바가 있다. 이에 Oh *et al.*(1989)은 신보광산 지역에 대한 지질조사, 지화학분석, 그리고 가능지역에 대한 알파메파 측정을 통하여 우라늄 광화대가 가장 기대되는 구조선대를 대상으로 시추조사를 수행한 바가 있다. 그러나 기대되었던 선택브리야기 변성퇴적암류와 구조선대에서 우라늄 광화대는 아직까지 확인된 바가 없다.

한편, 신보광산과 그 주변지역에 형성된 우라늄 이상치에 대한 지화학적 연구를 통하여 Chung *et al.*(1998)은 하천수의 우라늄 함량이 광산지대에서 멀어질수록 306 $\mu\text{g/l}$, 142 $\mu\text{g/l}$, 3.13 $\mu\text{g/l}$ 등으로 감소하고 적내골과 세동천이 만나는 본 연구지역의 남동부의 157 m 심부 지하수에서 387 $\mu\text{g/l}$ 의 높은 우라늄 함량을 보고한 바가 있다(Figs. 1b and 2; Chung *et al.*, 1998의 Fig. 5a). 또한, 그들은 단지 항내수를 발원수로 하는 하천수만이 Ca(Mg)SO₄형의 수질 특성을 보인다는 점과 우라늄 이상치가 Ca(Mg)SO₄형의 수질에서만 나타나지 않고 Ca(HCO₃)₂형의 심부 지하수에서 더 높게 형성되어 있다는 점을 고려하여, 이 지역의 우라늄 광화대 또는 부화대는 Ca(HCO₃)₂형의 수질 특성을 형성시킬 수 있는 화성암 지대 내에 형성되어 있으며 신보광산 지역의 우라늄 지화학 이상대는 Ca(HCO₃)₂형의 심부 지하수 중의 우라늄이 광산지대

를 통과하면서 그 경로에 존재하는 점토광물의 표면에 흡착되어 이차적으로 부화되었을 가능성을 제시한 바가 있다. 이는 이 지역의 우라늄 광화대는 백운질 석회암층(Seo *et al.*, 1986; Oh *et al.*, 1989)이 아닌 화성암 지대에 부존되어 있음을 의미한다. 또한, Na *et al.*(2000)은 동위원소적 특성을 중심으로 하는 지화학적 연구를 통하여 광산지대를 통과하는 하천수의 우라늄 함량은 광산지대에서 멀어질수록 257 $\mu\text{g/l}$, 173 $\mu\text{g/l}$, 52 $\mu\text{g/l}$ 등으로 역시 감소하고 광산지대를 통과하지 않는 천부 지하수(5.81 $\mu\text{g/l}$)와 지류(3.07 $\mu\text{g/l}$)의 우라늄 함량에 비해 현저히 높게 나타남을 보여준 바가 있다. 그러나 연구지역의 남동부에 위치한 150 m 이상의 심부 지하수(우라늄 함량: 312 $\mu\text{g/l}$)는 광산지대의 주 수계와 관련이 없고 광산의 특성원소인 Mg 농도가 낮으며 Na가 증가하는 등 일반 지하수 수준의 수질을 보임에도 불구하고 가장 높은 우라늄 함량을 보인다(Na *et al.*, 2000). 이는 심부 지하수의 우라늄 함량은 광산지대의 통과 여부와 관련성이 없음을 시사한다. 또한, 함 우라늄 지하수를 형성시킨 대수층의 동위원소 화학적 특성에 대한 추적 연구를 통하여 Na *et al.*(2000)은 우라늄의 초생적인 근원암은 페그마타이트질 맥암류이며 광산지역 우라늄 지화학 이상대는 역시 이를 대수층으로 하는 수계를 통하여 이동하는 우라늄이 광산지대를 통과하면서 그 경로에 존재하는 흑연질 편암내의 유기물질에 흡착·고정되는 이차적인 부화작용으로 형성되었을 가능성을 제시한 바가 있다. 이러한 연구결과는 Chung *et al.*(1998)의 연구결과와 유사하다.

높은 우라늄 함량의 심부 지하수 관정(Chung *et al.*, 1998; Na *et al.*, 2000)이 위치하는 신보광산 동부지역에서 정밀한 야외지질조사와 함께 암상구분과 지질구조에 의한 상세한 지질도를 작성한 결과, 기존 연구와 달리 연구지역에는 주로 동북동-서남서 방향의 대상 분포를 보이는 선택브리야기 변성퇴적암류(규암, 변성이질암, 변성사질암)와 이를 관입하는 시대미상의 페그마타이트 그리고 이들을 관입하는 백악기 반암류가 분포한다(Fig. 2). 신보광산의 항내수 및 주변 지하 및 하천수에 관한 수리화학 및 동위원소적 연구를 통하여 우라늄의 초생적인 근원암으로 간주된 거정질 페그마타이트(Chung *et al.*, 1998; Na *et al.*, 2000)는 주로 연구지역의 남부에 우라늄 함량이 높게 산출되는 심부 지하수 관정을 중심으로 산출한다(Figs. 1b and 2). 그러나 연구지역의 중부와 북부에 산발적으로 노출된 페

그마타이트의 노두 산출상황으로 보아 연구지역의 페그마타이트는 암주 내지 암맥 상으로 지하 심부에 광역적으로 분포할 것으로 판단된다.

중첩된 연성 변형 암석구조들의 기하학적 특성 및 선후관계로부터 변형단계별 구조요소를 연구한 결과, 선크브리아기 변성퇴적암류의 암석 및 지질구조는 편마구조 내지 편리가 형성된 이후 적어도 세 번의 변형 단계를 걸쳐 형성되었다. 이들 구조요소 중에 S1 광역엽리의 방향성은 변성퇴적암류의 대상 분포 방향과 거의 유사한 동북동 주향에 남쪽으로 경사하는 것이 가장 우세하게 나타나고 부분적으로 북쪽으로 경사한다(Figs. 4 and 5). 또한, 지하수의 유동과 밀접한 관련성이 있을 것으로 판단되는 고각 단열의 방향성은 변성퇴적암류의 대상 분포 방향성과 S1 광역엽리의 우세 방향성과 일치하는 동북동 주향에 남쪽으로 경사하는 것이 가장 우세하게 나타나고 남북 주향에 동서 방향으로 경사하는 것이 다음으로 우세하게 나타난다. 따라서 전자와 후자의 불연속면은 연구지역의 지하수를 각각 남쪽과 동서 방향으로 이동시키는 중요한 통로 역할을 할 것으로 판단된다. 연구지역의 지하수는 연구지역의 남부에 주로 산출하고 지하 심부에 광역적으로 분포할 것으로 기대되는 거정질 페그마타이트를 대수층으로 하여 전자의 불연속면을 통해 우라늄 함량이 가장 높은 심부 지하수 관정 위치로 이동할 것이고 후자의 불연속면을 통해 연구지역의 서부에 위치하는 신보광산 지역으로 이동할 것으로 판단된다.

이에 연구지역에 분포하는 거정질 페그마타이트의 분포 및 산출상황과 변성퇴적암류의 대상 분포 방향, S1 광역엽리 및 고각 단열의 우세 방향성 등 지하수 유동과 밀접한 관련성 있는 주요 불연속면의 특성 등을 고려해 볼 때, 본 연구결과는 거정질 페그마타이트가 우라늄의 초생적인 근원암이며 이를 대수층으로 하는 지하수를 통해 이동하는 우라늄이 광산지역에서 이차적인 부화작용으로 광산지역의 우라늄 지화학 이상대가 형성되었다는 기존 연구결과(Chung *et al.*, 1998; Na *et al.*, 2000)를 지지한다. 그러나 신보광산과 그 주변지역에서 우라늄의 초생적인 근원암과 지화학적 이상대의 형성요인을 보다 구체적으로 논의하고 결정하기 위해서는 암상구분과 지질구조에 의한 상세한 지질도를 작성하여 구성암류 특히 거정질 페그마타이트의 분포 특성을 보다 정밀하게 파악하고 지하수 유동과 밀접한 관련성이 있는 불연속면의 조사를 보다 광역적으로 실시할 필요가 있다.

5. 결 론

(1) 기존 연구와 달리 암상구분과 지질구조에 의한 상세한 지질도를 작성한 결과, 신보광산 동부지역에는 고품위 우라늄 광체가 존재할 가능성이 높은 선크브리아기 변성퇴적암류(규암, 변성이질암, 변성사질암)(Seo *et al.*, 1986; Oh *et al.*, 1989)와 이들을 관입하는 시대미상 페그마타이트(Chung *et al.*, 1998; Na *et al.*, 2000)와 백악기 반암류가 분포하고 이들을 부정합으로 피복하는 백악기 진안층군(Shimamura, 1924)은 관찰되지 않으며 규암의 구조적 상부면에는 동북동 방향의 단층이 발달한다.

(2) 중첩된 주요 연성 변형 암석구조에 대한 변형단계별 구조요소를 연구한 결과, 선크브리아기 변성퇴적암류의 암석 및 지질구조는 편마구조 내지 편리가 형성된 이후 적어도 세 번의 변형단계(D1 광역엽리: 동북동 방향성 -> D2 파랑엽리: 동북동 내지 동서 방향성 -> D3 개방, 밀착, 키크 습곡: 서북서 내지 동서 방향성)를 걸쳐 형성되었다.

(3) 주요 구성암류에 발달하는 규칙 단열계의 방향성 특성을 분석한 결과, 고각 단열(경사각 $\geq 45^\circ$)의 방향성 및 출현빈도는 I 그룹-동북동(출현빈도: 24.3%), II 그룹-남북(23.9%), III 그룹-(북)북서(18.8%), IV 그룹-(서)북서(16.9%), V 그룹-(북)북동(16.1%) 계열 순으로 우세하게 나타나고 저각 단열(경사각 $< 44^\circ$)의 경우 I 그룹-서북서(34.2%), II 그룹-동북동(21.8%), III 그룹-(북)북동(18.6%), IV 그룹-북서(14.0%), V 그룹-남북(11.4%) 계열 순으로 높게 나타난다.

(4) 기존 연구결과를 바탕으로 거정질 페그마타이트의 분포 및 산출상황과 변성퇴적암류의 대상 분포 방향, S1 광역엽리 및 고각 단열의 우세 방향성 등 연구지역에서 지하수 유동과 밀접한 관련성 있는 불연속면의 특성을 고찰해 본 결과, 본 연구결과는 우라늄의 초생적인 근원암은 거정질 페그마타이트이며 광산지역의 우라늄 지화학 이상대는 이를 대수층으로 하는 지하수의 이동에 의한 이차적인 부화작용으로 형성되었다는 기존 연구결과(Chung *et al.*, 1998; Na *et al.*, 2000)와 일치한다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원의 2009년도 “국내/외 우라늄 확보 전주기 요소기술 개발” 과제에서 지원

되었습니다. 본 논문을 심사하여 유익한 조언을 해주신 익명의 심사위원과 권상훈 교수께 감사드립니다.

참고문헌

- Chung, J.-I., Lee, M.-S. and Na, C.-K. (1998) Geochemical study on the Uranium Anomaly around the Shinbo Talc Mine (I) - In the Light of Hydrochemical Properties -. *Econ. Environ. Geol.*, v.31, p.101-110.
- Chwae, U.C., Kim, K.B., Hong, S.H., Lee, B.J., Hwang, J.H., Park, K.H., Hwang, S.K., Choi, P.Y., Song, K.Y. and Jin, M.S. (1995) Geological map of Korea (1: 1,000,000). Korea Institute of Geology, Mining and Materials, Sungji Atlas Co.
- Na, C.-K., Park, H.-Y. and Park, H.-J. (2000) Geochemical Study on the Uranium Anomaly around the Shinbo Talc Mine (II) - In the Light of Isotopic Characteristics -. *Econ. Environ. Geol.*, v.33, p.367-377.
- Oh, C.-H., Park, J.-K., Seo, H.-J., Kim, T.-K., Chae, S.-C. and Ko, S.-M. (1989) Uranium exploration in Shinbo mine area, Jinan. Korea Institute of Energy and Resources, KR-89, p.81-106.
- Seo, H.-J., Shin, S.-C., Yoon, H.-S. and Kim, T.-K. (1986) Geochemical exploration for uranium in the Chonju-Jinan area. Korea Institute of Energy and Resources, KR-86-3, p.21-55.
- Shimamura, S. (1924) Jeonju-Jinan sheet (1: 50,000). Geological survey of Korea.

2012년 1월 11일 원고접수, 2012년 2월 20일 게재승인