



옥천변성대 북서부 충주-괴산지역의 구성암류와 방사능 값: 희토류 광체의 기원암과 그 분포 및 특성 고찰

강지훈^{1,*} · 이덕선² · 고상모³

¹안동대학교 지구환경과학과

²울산광역시 재난관리과

³한국지질자원연구원 DMR융합연구단

요 약

옥천변성대의 북서부에 위치하는 충주-괴산지역에는 신원생대 변성암류(변성이질암, 화강암질편마암, 함철 규암, 변성심성산성암, 변성반심성산성암, 변성화산산성암, 변성염기성암, 변성역질암, 변성사질암, 규암, 결정질 돌로마이트질석회암)와 중생대 화성암류(페그마타이트, 흑운모화강암, 반려암, 섬록암, 화강반암, 염기성암맥)가 분포하고, 희토류 광화대가 보고된 바가 있다. 이 논문에서는 기존 연구결과와 함께 노두별 구성암류의 방사능 값과 그 밀도분포도로부터 희토류 광체의 기원암과 그 분포 및 특성을 고찰하였다. 그 결과 세부 지역별 방사능 최대값 내지 최대평균값은 일반적으로 변성 심성 및 화산 산성암에서 높고, 특히 전기 주라기 흑운모화강암과 페그마타이트가 분포하는 아래산지역의 변성 심성산성암(함염기성형)(최대값: 1217 cps, 평균값: 1039 cps)과 철광산지역의 북부 영역의 변성 심성(최대값: 1404 cps) 및 화산(최대값: 980 cps) 산성암에서 월등히 높게 나타난다. 변성 심성 및 화산 산성암의 방사능 평균값은 충주 아래산과 철광산 지역들에서 110 ~ 221(최대 1039) cps 범위를 보이는 반면에 충주 남산, 향산리, 옥녀봉 지역들과 괴산 검승리지역들에서는 88 ~ 140 cps 범위를 보인다. 이는 충주-괴산지역의 희토류 광화작용은 전기 주라기 화성활동과 밀접한 관련성이 있고, 전기 주라기 화성활동은 충주-괴산지역의 구성암류의 방사능 평균값을 적어도 22 ~ 81(최대 899) cps 이상 증가시켰음을 의미한다. 따라서 충주-괴산지역에 발달하는 희토류 광화대의 특성을 보다 세부적으로 파악하기 위해서는 추후 옥천변성대 북서부에 분포하는 중생대 화성암류의 시대적 분류, 분포, 산상에 대한 보다 심도 있는 연구가 요구된다.

주요어: 옥천변성대, 충주-괴산지역, 희토류 광화대, 변성 심성 및 화산 산성암, 전기 주라기 화성활동

Ji-Hoon Kang, Deok-Seon Lee and Sang-Mo Koh, 2018, Constituent rocks and radioactive values of the Chungju-Goesan area in the northwestern part Ogcheon metamorphic zone, Korea: Considering on the source rock of REE ore body and its distribution and characteristics. Journal of the Geological Society of Korea. v. 54, no. 4, p. 383-398

ABSTRACT: The Neoproterozoic metamorphic rocks (metapelitic rock, granitic gneiss, iron-bearing quartzite, metaplutonic, metahypabyssal, metavolcanic acidic rocks, metabasic, metaconglomerate, metapsammitic rocks, quartzite, crystalline dolomitic limestone) and the Mesozoic igneous rocks (pegmatite, biotite granite, gabbro, diorite, granite porphyry, basic dyke) are distributed in the Chungju-Goesan area, which is located in the northwestern part of Ogcheon metamorphic zone (NW-OMZ), Korea, and the rare earth element (REE) mineralized zone has been reported there. From the radioactivity values of these constituent rocks at each outcrop and their density distribution diagrams with the result of previous research, we considered the source rock of REE ore body and its distribution and characteristics in this paper. It indicates that the max or max mean values of radioactivity at each area are usually higher in the metaplutonic and metavolcanic acidic rocks (MPAR-MVAR). The values are particularly high in the metaplutonic acidic rock (basic-bearing type) (max: 1217 cps, mean: 1039 cps) at the Eoraesan and MVAR (max: 1404 cps)-MVAR (max: 980 cps) at Iron Mine areas, Chungju, where the Early Jurassic biotite granite and pegmatite occur. And the radioactivity mean values of the MPAR-MVAR at the Eoraesan and iron mine areas, Chungju show 110 ~ 221 (max: 1039) cps, while those at the Namsan, Hyangsanri, Oknyeobong areas, Chungju and Geomseungri area, Goesan are 88 ~ 140 cps. It means that the REE mineralization in the

* Corresponding author: +82-54-820-5474, E-mail: jhkang@anu.ac.kr

Chungju-Goesan area is closely related to the Early Jurassic igneous activity, and it has increased the radioactivity mean values of the constituent rocks by at least 22 ~ 81 (max 899) cps. Therefore for a more detailed understanding on the characteristics of REE mineralized zone of the Chungju-Goesan area, a more in-depth research on age classification, distribution, occurrence of the Mesozoic igneous rocks in the NW-OMZ is required later.

Key words: Ogcheon metamorphic zone, Chungju-Goesan area, REE mineralized zone, metaplutonic and meta-volcanic acidic rocks, Early Jurassic igneous activity

(Ji-Hoon Kang, Department of Earth and Environmental Sciences, Andong National University, Andong 36729, Republic of Korea; Deok-Seon Lee, Disaster Management Division, Ulsan Metropolitan City, Ulsan 44675, Republic of Korea; Sang-Mo Koh, Convergence Research Center for Development of Mineral Resources, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 34132, Republic of Korea)

1. 서 론

옥천변성대의 북서부에 위치하는 충주-괴산지역은 옥천변성대의 주요 구성지층인 계명산층, 향산리 돌로마이트층, 대향산규암층, 문주리층, 운교리층, 황강리층과 이들 지층을 관입하는 중생대 화성암류가 분포한다(Kim and Lee, 1965; Lee and Kim, 1972)(그림 1, 2). 특히 이 지역의 계명산층과 문주리층에는 대륙판 내부의 옥천열곡작용과 관련된 쌍봉형 화성활동의 산물인 화산암과 심성암 기원의 변성화성암류가 다량 산출되고 있다(e.g., Cluzel *et al.*, 1990; Kang, 1994a, 1994b; Kang and Ryoo, 1997; Koh *et al.*, 2005). 따라서 충주-괴산지역은 옥천열곡분지의 형성 및 진화과정, 열곡작용과 화성활동 사이의 관계, 나아가 옥천변성대의 지구조 발달과정을 연구하는데 있어 매우 중요하다. 또한 이 지역에 분포하는 계명산층, 문주리층, 운교리층 내에는 희토류 광화대가 보고된 바가 있고(Oh *et al.*, 1988), 이와 관련하여 높은 자력 및 방사능이상대가 보고된 바가 있으므로(Koo *et al.*, 1986)(그림 3), 지금까지 충주-괴산 지역에서 희토류 광체의 기원암과 그 분포 및 특성 그리고 형성시기 등을 파악하기 위한 광상학적 연구와 지구연대학적 연구가 활발히 수행된 바가 있다(Oh *et al.*, 1988; Park and Kim, 1995, 1998; Kim *et al.*, 1998; Park *et al.*, 2005; You *et al.*, 2012; Cheong *et al.*, 2015).

그러나 계명산층과 문주리층은 단일 암층이 아니라 다양한 암종으로 구성되어 있고(Kim and Lee, 1965; Reedman *et al.*, 1973; Na *et al.*, 1982; Oh, 1989; Cluzel *et al.*, 1990; Kang, 1994a, 1994b; Min *et al.*, 1995; Park and Kim, 1995, 1998; Kang and Ryoo, 1997; Kim *et al.*, 1998; You *et al.*, 2012), 지금

까지 이들 지층을 구성하는 암석들의 종류 및 분포와 산상적 특징에 대한 정보(e.g., Kang, 1994a, 1994b; Kang and Ryoo, 1997)가 거의 제공된 바가 없기 때문에 충주-괴산지역에서 옥천퇴적분지의 형성 및 진화과정, 열곡작용과 화성활동 사이의 관계, 나아가 희토류 광체의 기원암과 그 분포 및 특성을 파악하고 논의하는데 많은 어려움을 겪고 있다.

이에 Kang *et al.* (2017)은 이들 주요 지층 사이의 지질학적 관계를 직접 조사할 수 있고, 희토류 광화대와 관련하여 높은 자력 및 방사능 이상대를 보이는 충주 오래산, 철광산, 남산, 향산리, 옥녀봉 지역들과 괴산 검승리지역(이하 연구지역)(그림 1, 2, 3)에서 이들 지층에 대한 암상단위 구분에 의한 상세한 지질도를 작성하여 옥천변성대 북서부의 지질 및 구성암류를 파악하였다. 그리고 이들 연구결과와 기존 연구자들의 절대연령자료와 지구화학적 자료를 종합하여 옥천열곡분지의 형성 및 진화과정과 이에 수반된 화성활동사를 고찰한 바가 있다.

그 결과 충주-괴산지역에 분포하는 옥천변성대 북서부의 주요 지층은 기존 연구결과(Kim and Lee, 1965; Lee and Kim, 1972)와 달리 변성이질암, 화강암질편마암, 함철규암, 변성심성산성암, 변성반심성산성암, 변성화산산성암, 변성염기성암, 변성역질암, 변성사질암, 규암, 결정질 돌로마이트질석회암 등의 신원생대 변성암류로 구성되어 있고, 이들을 관입하는 중생대 화성암류는 페그마타이트, 흑운모화강암, 반려암, 섬록암, 화강반암, 염기성암맥 등으로 구분되었다. 그리고 옥천퇴적분지의 열곡작용과 이에 수반된 화성활동은 전기 신원생대(약 852~892 Ma), 중기 신원생대(약 747~762 Ma), 전기 고생대(약 424~463 Ma), 중기 고생대(약 330~398 Ma) 등 적어도 4회 발생하였고, 옥천변성대 북서부에서 중생대 주라기 화성활동

은 전기(약 183~199 Ma)와 중기(약 160~180 Ma)에 각각 1회씩 발생하였음을 알게 되었다.

또한 최근에 Kang *et al.* (2018)은 희토류 광화대가 발달하는 충주-어래산지역에서 암상단위 구분에 의해 작성된 상세한 지질도로부터 지질 및 구성암류

와 그 분포를 파악하고 암상별 방사능 값과 그 밀도 분포도를 분석하였다. 그 결과 노두별 방사능 값의 고밀도 분포영역이 함염기성형 변성심성산성암의 분포영역과 일치하고, Oh *et al.* (1988)에 의해 작성된 희토류 광체의 분포영역과 매우 유사함을 인지하여

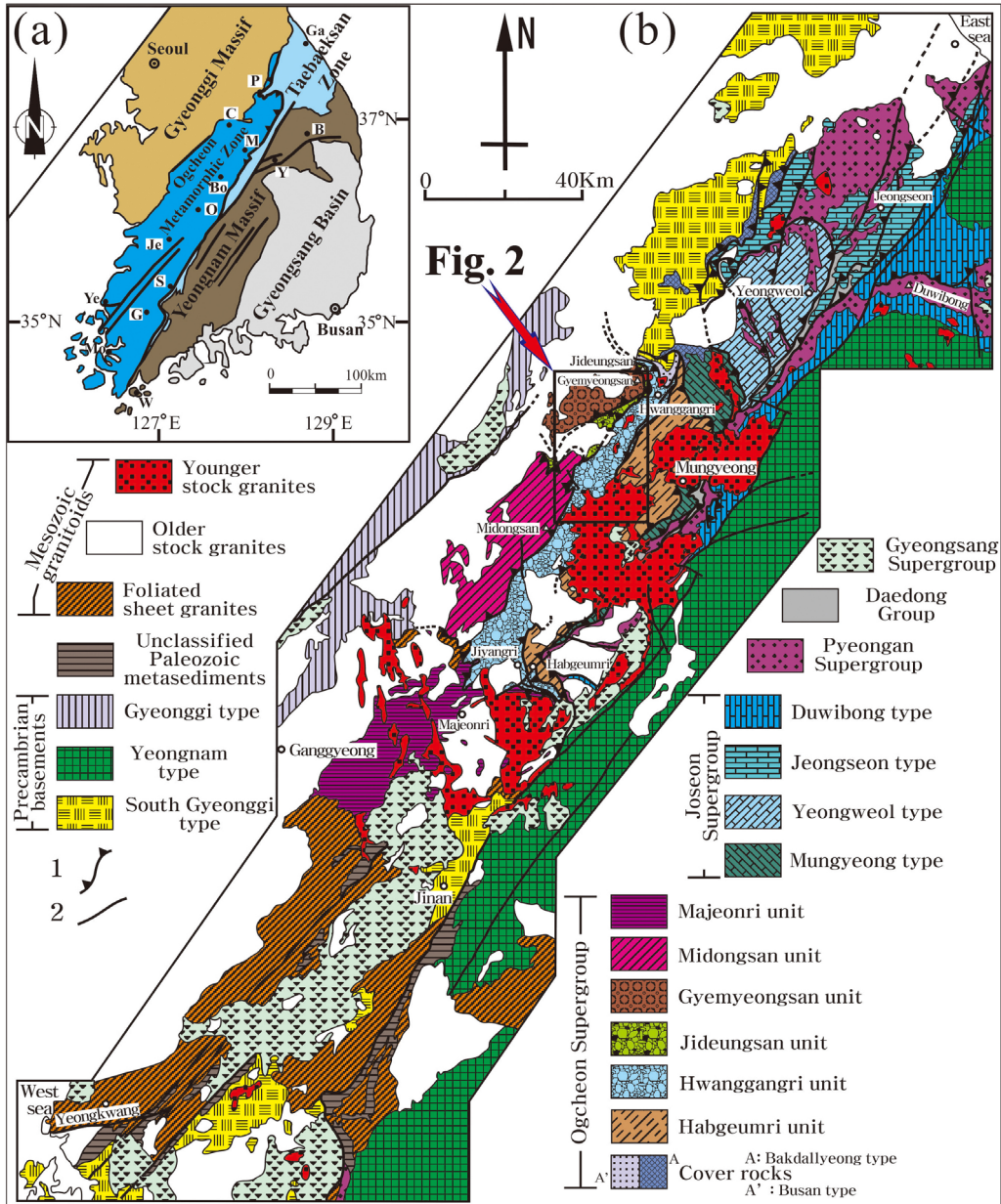


Fig. 1. (a) Tectonic province maps of the Korean Peninsula and (b) geological map showing the division of stratigraphic sequences and structural units in the Ogcheon Belt with the locality of study area (adapted from Kang *et al.*, 2017). 1: Thrusts, 2: Faults, B: Bonghwa, Bo: Boeun, C: Chungju, G: Gwangju, Ga: Gangneung, Je: Jeonju, M: Mungyeong, Mo: Mokpo, O: Ogcheon, P: Pyeongchang, S: Sunchang, S.: South, W: Wando, Y: Yecheon, Ye: Yeongkwang.

충주 아래산 주변에 분포하는 함염기성형 변성심성

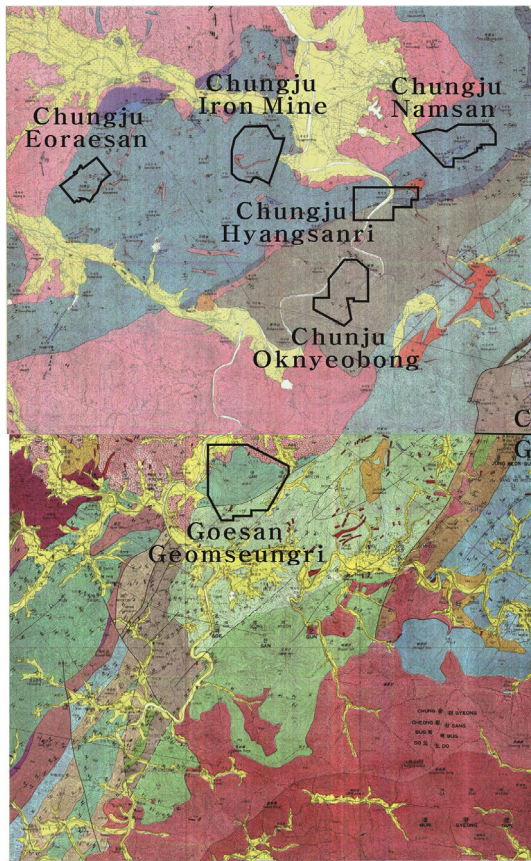


Fig. 2. Locality of study area in the Chungju (Kim and Lee, 1965) (upper C) and Goesan (Lee and Kim, 1972) (lower G) sheets (1:50,000). See the Chungju and Goesan sheets for detailed explanation.

산성암이 희토류 광체의 기원암일 가능성을 보고한 바가 있다.

따라서 이 논문에서는 연구지역에서 보고된 Kang *et al.* (2017)의 연구결과를 바탕으로 충주-괴산지역의 지질 및 구성암류와 그 분포를 재고하고, 이들 구성암류로부터 측정된 노두별 방사능 값과 그 밀도분포도로부터 최대 방사능 값을 보이는 구성암상의 종류와 방사능 값의 고밀도 분포특성 등을 파악하고, 이 연구결과와 기존 연구결과를 종합하여 높은 자력 및 방사능 이상대를 보이는 충주-괴산지역에서 희토류 광체의 기원암과 그 분포 및 특성을 고찰해 보고자 한다.

2. 지질개요

옥천누층군은 구조 및 변성도의 불연속에 의해 인지되는 6개의 지구조단위 즉 구조적 하부로부터 함금리, 황강리, 지등산, 계명산, 미등산, 그리고 마전리 지구조단위 등으로 구분된다(e.g., Kang *et al.*, 1993, 2012b; Kang, 2001)(그림 1). 이들 중에 계명산층을 포함하는 계명산 지구조단위와 문주리층과 윤교리층의 일부를 포함하는 지등산 지구조단위에서는 옥천열곡작용과 관련된 쌍봉형 화성활동의 산물인 화산 및 심성 산성암류가, 황강리 지구조단위에는 황강리층의 변성역질암과 이와 교호하는 화산산성암류가, 그리고 함금리 지구조단위에는 화산 및 심성 염기성암류가 각각 우세하게 산출된다.

희토류 광화대와 관련하여 높은 자력 및 방사능 이상대가 나타나는 연구지역(그림 3)에서 옥천변성

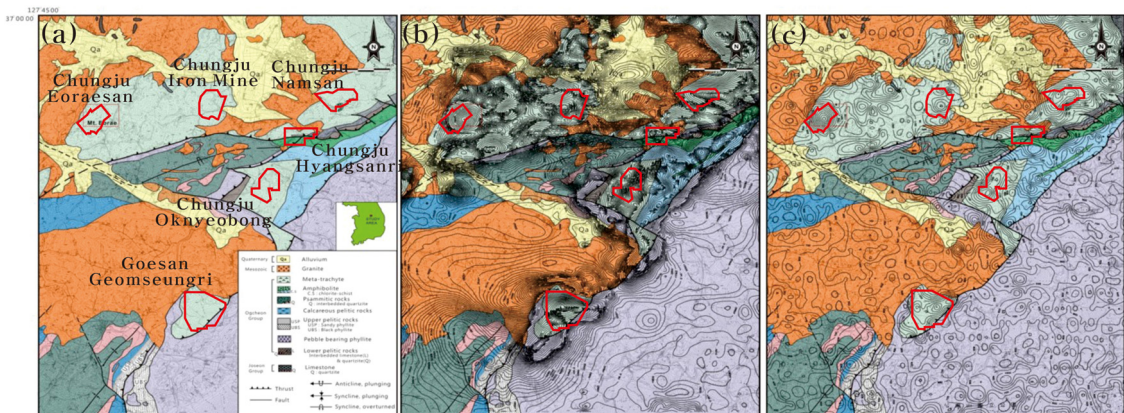


Fig. 3. (a) Geological map (modified after Kim *et al.*, 1995 and Koh *et al.*, 2005), and airborne (b) magnetic and (c) radiometric maps (modified after Koo *et al.*, 1986) of the Chungju-Goesan area.

대 북서부의 주요 지층에 대한 상세하고 정밀한 야외지질조사를 수행한 결과(Kang *et al.*, 2017), 운교리층과 문주리층은 변성심성산성암, 변성반심성산성암, 변성화산산성암, 변성염기성암, 변성역질암 등으로 상호 동일한 화성기원의 변성암류로 구성되어 있는 반면에 계명산층은 이들 변성화성암류와 함께 변성이질암, 화강암질편마암, 함철규암, 변성사질암, 규암, 결정질 돌로마이트질석회암 등과 같은 퇴적기원의 변성암류로 구성되어 있다. 또한 충주도폭의 대향산규암과 향산리돌로마이트질석회암에 상응하는 규암과 결정질 돌로마이트질석회암은 계명산층에서도 연장성 있게 반복되어 산출된다(그림 1, 2, Kang *et al.*, 2017의 그림 3~8). 그리고 이들 변성암류를 관입하는 중생대 화성암류는 페그마타이트, 흑운모화강암, 반려암, 섬록암, 화강반암, 염기성암맥 등으로 구분된다.

주요 단층으로는 계명산과 지등산 지구조단위들의 경계에 해당하는 동-서 내지 동북동 방향의 충상단층이 향산리지역에서 문주리층의 변성염기성암의 북부 경계를 따라 발달하고, 지등산과 황강리 지구조단위들의 경계에 해당하는 동북동 방향의 충상단층이 검승리지역에서 황강리층의 북부 경계를 따라 발달한다. 그 외 남-북, (동)북동, (서)북서 방향의 고각 단층들이 발달하는데, 이들 단층은 이들 경계충상단층과 충주-괴산지역의 주요 구성암류의 연장성을 절단한다.

3. 구성암류

3.1 신원생대 변성암류

변성이질암, 화강암질편마암, 함철규암은 옥천변성대 북서부의 구조적 상부 영역에 해당하는 아래산과 철광산 지역들에 주로 산출된다. 변성이질암은 아래산지역의 북부에 소규모 산출된다. 화강암질편마암은 아래산지역의 남부에 소규모로 산출되고, 철광산지역의 중앙부와 서부에 넓게 분포한다. 최근 Cheong *et al.* (2015)은 아래산지역에 분포하는 화강암질편마암(편마상 섬장암)의 저어콘 입자들의 중심부와 주변부로부터 각각 858.2 ± 6.3 Ma와 ca. 190 Ma의 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 연대를 보고하고, 이들을 각각 전기 신원생대 화성활동과 전기 주라기 화강암의 접촉변성작용 시기로 해석한 바가 있다. 함철규암은 주로 변성심성산성암에

협재되어 소규모 렌즈상으로 산출되며, 부분적으로 중생대 페그마타이트, 흑운모화강암의 관입을 받아 포획되어 산출된다.

변성심성산성암은 향산리지역을 제외한 모든 지역에서 산출된다. (동)북동 방향의 대상 분포를 보이고 주로 변성화산산성암과 교호하며 산출되나, 남산 지역에서는 주로 변성반심성산성암에 협재되어 렌즈상으로 산출된다. 아래산지역의 변성심성산성암은 구성광물 및 조직의 차이에 의해 호상형, 세립형, 함염기성형, 조립형 등으로 구분된다(Kang *et al.*, 2018). Kang *et al.* (2012a)은 이 지역의 조립형 변성심성산성암으로부터 870 ± 66 Ma와 194 ± 18 Ma의 U-Pb 저어콘 연대를 구하고, 이들을 각각 전기 신원생대의 화성활동과 전기 주라기 화강암의 접촉변성작용 시기로 보고한 바가 있으며, Kang *et al.* (2018)은 아래산 부근에서 북동 방향의 대상분포를 보이는 함염기성형 변성심성산성암을 희토류 광체의 기원암으로 해석한 바가 있다.

변성반심성산성암은 옥천변성대 북서부의 구조적 중부와 하부 영역에 위치한 남산, 향산리, 옥녀봉, 검승리 지역들에서 산출된다. 변성화산산성암은 옥천변성대 북서부의 거의 모든 지역에서 다른 여러 암상의 변성암류와 교호하며 산출된다. Kim *et al.* (2006)은 아래산지역 부근의 변성화산산성암으로부터 약 852~881 Ma의 U-Pb 저어콘 연대를 보고한 바가 있다. 또한 Lee *et al.* (1998)은 옥녀봉지역과 그 부근에 분포하는 문주리층의 변성화산산성암(변성조면암과 변성유문암)으로부터 755.8 ± 1.3 Ma와 160 ± 19 Ma의 U-Pb 저어콘 연대를 구하고, 이들을 각각 중기 신원생대의 화성활동과 중기 주라기의 접촉변성작용 시기로 보고한 바가 있다. 그리고 이러한 중기 신원생대 화성활동은 옥녀봉지역과 그 부근 채석장에서 채집한 문주리층 내의 변성화산산성암[U-Pb 저어콘 연대: 762 ± 7 Ma (Kim *et al.*, 2006), 747 ± 7 Ma (Cho *et al.*, 2004)]에서도 확인된 바가 있다. 변성염기성암은 변성반심성산성암과 같이 남산, 향산리, 옥녀봉, 검승리 지역들에서 산출되는 향산리지역의 남부에서는 광역적으로 산출되고, 그 외 지역에서는 다른 여러 암상의 변성암류와 접촉하며 단속적이나 연속성을 유지하며 소규모로 산출된다.

대륙판 내부의 열곡작용에 수반된 경동운동의 산물인 변성역질암은 계명산형, 문주리형, 황강리형 등

3종류로 구분된다(Kang *et al.*, 2017). 계명산형 변성 역질암은 주로 화산산성암의 기질부에 다양한 크기의 아원형~각형의 화산 및 심성 산성암을 주 구성역으로 하고, 남산과 향산리 지역들에서 전기 신원생대 화성활동의 산물인 변성 화산 및 심성 산성암(Kim *et al.*, 2006, 2011; Kang *et al.*, 2012a; Cheong *et al.*, 2015)과 함께 산출된다. 문주리형 변성역질암은 옥녀봉과 검승리 지역들에서 중기 신원생대 화성활동의 산물인 변성화산산성암(Lee *et al.*, 1998; Cho *et al.*, 2004; Kim *et al.*, 2006)과 함께 산출되며, 계명산형과 달리 화산 및 심성 산성암 이외에 변성 역질암을 주 구성역으로 하는 특징적인 산출양상을 보인다. 황강리형 변성역질암은 계명산형과 문주리형과 달리 주로 이질 성분의 기질에 석회암을 주 구성역으로 하고, 검승리지역에서 문주리형 변성역질암의 구조적 하부에서 산출된다. 중기 고생대를 지시하는 고생물학적 자료(Lee, J.-H. *et al.*, 1989)와 절대연령자료(Lim *et al.*, 2005; Suzuki *et al.*, 2006)와 함께 화산산성암류와 교호하는 야외산상자료(Kang, 1994a, 1994b)로부터 Kang *et al.* (2012b)은 황강리형 변성역질암을 중기 고생대 열곡작용의 산물로 해석한 바가 있다. 변성사질암과 충주도폭의 대향산 규암과 향산리돌로마이트질 석회암에 각각 대비되는 규암과 결정질돌로마이트질석회암은 구조적 중부 영역에 해당하는 남산과 향산리 지역들에서 다른 여러 암상의 변성암류와 접촉하면서 소규모로 산출된다.

3.2 중생대 화성암류

페그마타이트는 아래산지역의 중앙 남부와 철광산지역의 북부에서 변성암류를 고각 관입하거나 저각 층상으로 관입하며 소규모로 산출된다. You *et al.* (2012)은 아래산지역에 산출되는 페그마타이트로부터 약 190 Ma의 저어콘 U-Pb 연대를 보고하였다. 또한 Cheong *et al.* (2015)은 아래산(190.1±1.6 Ma)과 철광산(187.1±2.3 Ma, 187.9±2.9 Ma) 지역들에 분포하는 중립질 내지 조립질 그리고 부분적으로 페그마타이트질 화강암맥으로부터 약 187~190 Ma의 전기 주라기 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 저어콘 연대를 보고한 바가 있다.

흑운모화강암은 충주도폭과 달리 아래산과 철광산 지역들에서 광역적으로 산출되고, 향산리지역의 서부에서 다양한 규모로 산출되며, 남산, 옥녀봉, 검승리

지역들에서는 소규모로 분산되어 산출된다. Cheong *et al.* (2015)은 아래산지역에서 산출되는 핑크색 흑운모화강암의 저어콘 입자들의 중심부와 주변부로부터 각각 853.9±3.8 Ma와 194.4±4.5 Ma의 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 연대를 구하고, 옥천변성대 북서부 영역에 전기 신원생대의 화성활동과 그 산물을 근원 물질로 하는 전기 주라기의 화성활동을 보고한 바가 있다. 반려암과 섬록암은 아래산과 철광산 지역들에서 각각 소규모 암주상과 암맥상으로 산출된다. 반상조직의 화강반암은 충주도폭과 달리 향산리지역의 동부에서 다양한 규모로 산출되고, 염기성암맥은 아래산, 남산, 향산리 지역들에서 소규모로 산출된다.

4. 구성암상별 방사능 값의 분포와 특성

구성암상별 방사능 값은 감마선 섬광 계수기(Gamma ray scintillometer)(모델 GR-110)를 이용하여 각 노두위치에서 측정되었다. 방사능 값의 측정방식에는 1초 동안 1회 측정된 값을 표기하는 1 cps (count per second) 방식과 10초 동안 10회 측정된 값을 기 자체에서 평균값을 산정하여 표기하는 10 cps 방식이 있다. 이 연구에서는 10 cps 방식을 채택하여 노두별 총 20초 동안 2회 표기된 값의 중간값을 해당 노두에서의 대표 방사능 값으로 하였으며, 이들 값을 종합하여 이들 지역 구성암상의 암상별 방사능 값의 범위 및 평균값을 구하였다. 그리고 방사능 값의 밀도분포도는 100 m × 100 m의 단위격자 면적 내에 포함되는 노두위치들에서 측정된 대표 방사능 값들의 평균값을 해당 단위격자 면적 내 방사능 값의 대푯값으로 하고, 그 대푯값의 위치를 해당 단위격자 면적의 중심에 두고 작성하였다.

4.1 충주 아래산지역

계명산 지구조단위에 위치한다(그림 1, 2). 계명산층은 변성이질암, 화강암질편마암, 함철규암, 변성 심성산성암(호상형, 세립형, 함염기성형, 조립형), 변성화산산성암으로 구성되어 있다. 이를 관입하는 중생대 화성암류는 페그마타이트, 흑운모화강암, 반려암, 섬록암, 염기성암맥 등으로 구분된다(Kang *et al.*, 2017의 그림 3). 이들 중에 흑운모화강암은 전역에 광범위하게 분포하며 계명산층의 주요 구성암상을 접촉 변성시켰다(Kang *et al.*, 2017의 그림 3).

암상별 방사능 값은 852~1217 cps 범위(평균값: 1039 cps)를 보이는 함염기성형 변성심성산성암이 가장 높다(그림 4a). 이러한 범위의 방사능 값과 평균값은 후술한 다른 지역의 구성암류에 비해 월등하게 높다. 함염기성형 변성심성산성암을 제외한 변성암류의 방사능 평균값은 70~221 cps 범위를 보이고, 화성암류는

38~176 cps 범위를 보이는데, 이 지역의 이러한 방사능 평균값은 역시 후술한 다른 지역들에 비해 매우 높다(그림 4a). 노두별 방사능 값의 고밀도 분포영역은 함염기성형 변성심성산성암의 분포영역과 일치하고(그림 5), Oh *et al.* (1988)의 희토류 광체의 분포영역과 매우 유사한 점을 고려하여 Kang *et al.* (2018)은

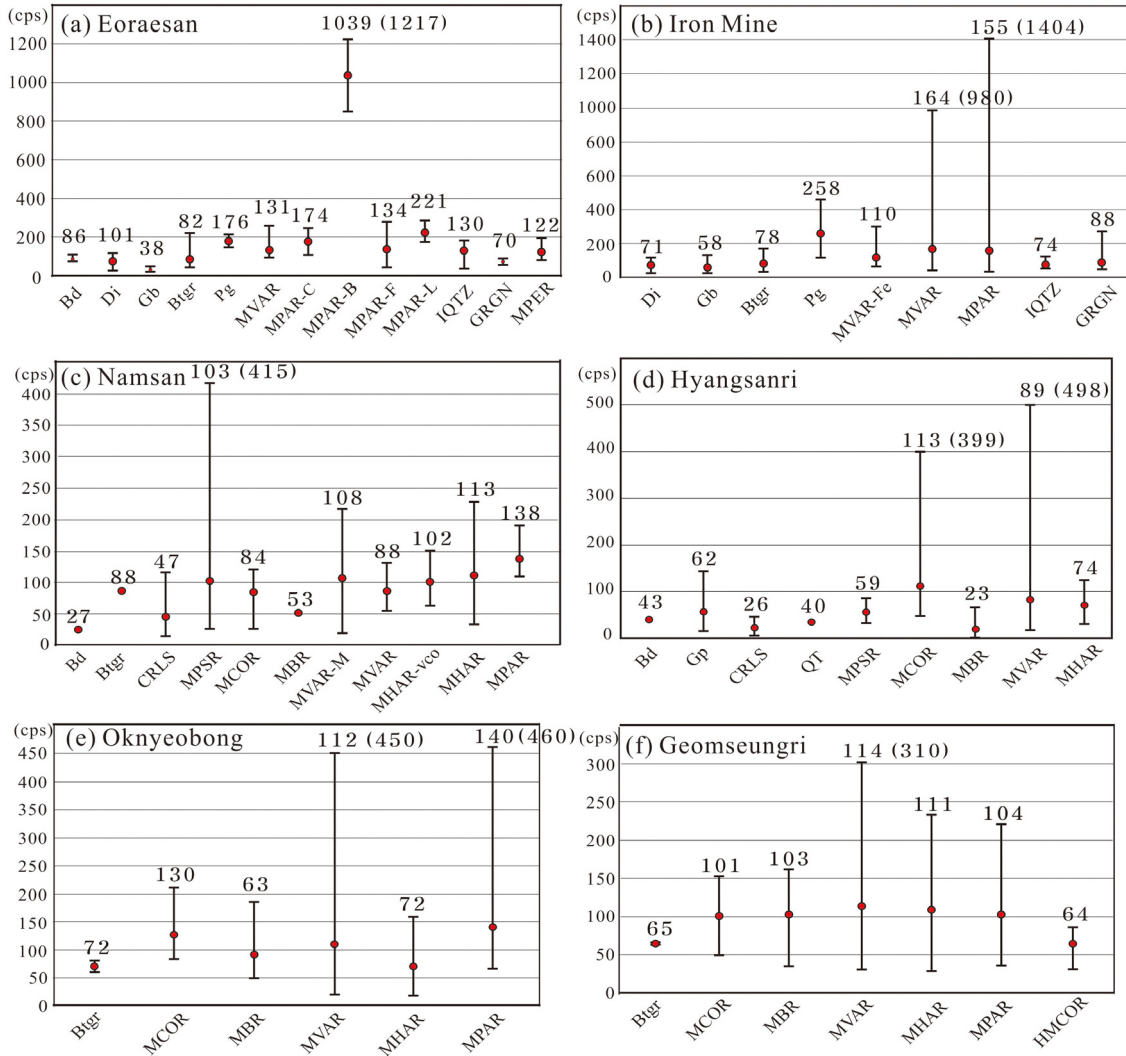


Fig. 4. Average and range of radioactive values in the constituent rocks of the (a) Eoraesan (modified after Kang *et al.*, 2018), (b) Iron Mine, (c) Namsan, (d) Hyangsanri, (e) Oknyeobong areas, Chungju and (f) Geomseungri area, Goesan. The numbers in brackets indicate the radioactive maximum values in each area. HMCOR: metaconglomerate rock (Hwanggangri Formation), MPER: metapelitic rock, GRGN: granitic gneiss, IQTZ: iron-bearing quartzite, MPAR: metaplutonic acidic rock (-L: banded type, -F: fine-grained type, -B: basic-bearing type, -C: coarse-grained type), MHAR: metahypabyssal acidic rock (-vco: very coarse-grained), MVAR: metavolcanic acidic rock (-M: mixed type, -Fe: iron), MBR: metabasic rock, MCOR: metaconglomerate rock, MPSR: metapsammitic rock, QT: quartzite, CRLS: crystalline (dolomitic) limestone, Pg: pegmatite, Btgr: biotite granite, Gb: gabbro, Di: diorite, Gp: granite porphyry, Bd: basic dyke. Y-axis: radioactive values, X-axis: constituent rocks.

함염기성형 변성심성산성암을 희토류 광체의 기원 암으로 해석한 바가 있다.

4.2 충주 철광산지역

계명산 지구조단위에 위치한다(그림 1, 2). Koo *et*

al. (1986)과 Oh *et al.* (1988)은 이 지역의 계명산층 내에 높은 자력과 방사능 이상대를 보고한 바가 있고 (그림 3), Kim *et al.* (1998)과 Park and Kim (1995)은 석영-장석편암을 모암으로 후기 마그마 단계에서 수반된 알칼리 교대작용에 의한 희토류 광상을 보고

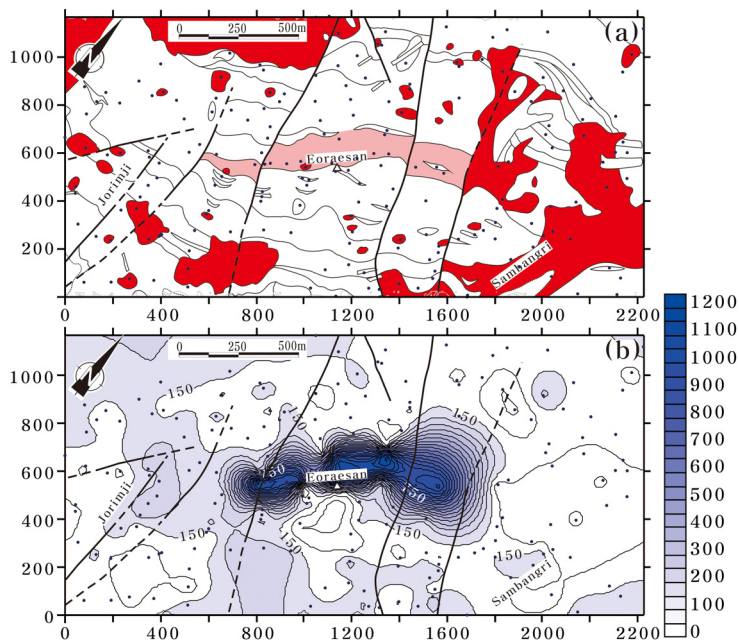


Fig. 5. Diagrams showing (a) the nude geological map (refer to Fig. 3 of Kang *et al.*, 2017 for details) and (b) the density distribution of the radioactive values in the Eoraesan area, Chungju (modified after Kang *et al.*, 2018). Dots: outcrop locations.

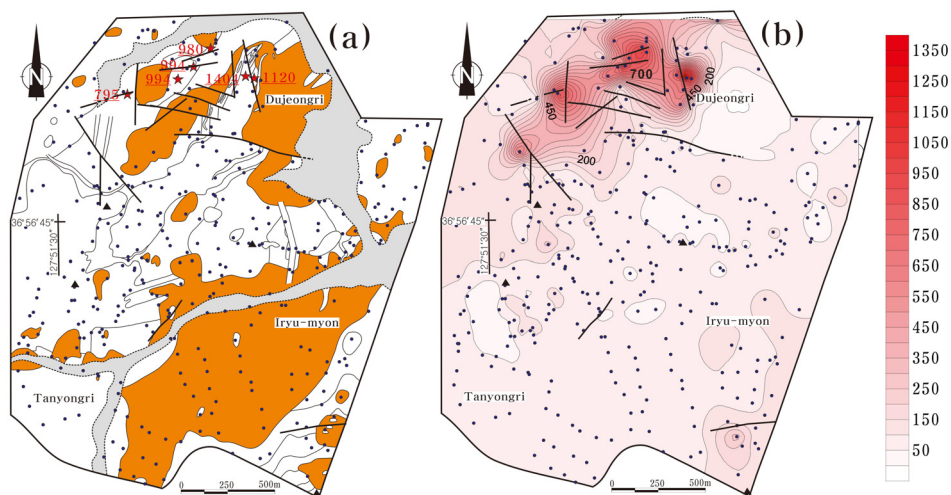


Fig. 6. Diagrams showing (a) the nude geological map (refer to Fig. 4 of Kang *et al.*, 2017 for details) and (b) the density distribution of the radioactive values in the Iron Mine area, Chungju. Dots: outcrop locations.

한 바가 있다. 계명산층의 주요 구성암상은 화강암 질편마암, 함철규암, 변성화산산성암(세립형, 함철형), 변성심성산성암 등으로 구분되고, 중생대 화성암류는 페그마타이트, 흑운모화강암, 반려암, 섬록암 등으로 구분된다. 이러한 구성암류는 전술된 어래산지역과 유사하고, 중생대 흑운모화강암은 역시 이 지역의 전역에 광범위하게 분포하며 계명산층의 주요 구성암상을 접촉 변성시켰다(Kang *et al.*, 2017의 그림 4).

암상별 방사능 평균값은 변성암류에서 74~164 cps 범위, 화성암류에서 58~258 cps 범위를 보이고, 페그마타이트(258 cps), 세립형 변성화산산성암(164 cps), 변성심성산성암(155 cps) 순으로 높다. 최대값은 변성심성산성암(1404 cps), 세립형 변성화산산성암(980 cps), 페그마타이트(455 cps) 순으로 높고, 세립형 변성화산산성암(39~980 cps)과 변성심성산성암(30~1,404 cps)은 매우 넓은 범위의 방사능 값을 보인다(그림 4b). 그리고 최대 방사능 값을 보이는 이들 암상은 페그

마타이트와 흑운모화강암이 관입하는 이 지역의 북부에 분포하고, 남부에 분포하는 세립형 변성화산산성암과 변성심성산성암에서 방사능 값은 낮다(그림 6, Kang *et al.*, 2017의 그림 4).

4.3 충주 남산지역

계명산 지구조단위에 위치한다(그림 1, 2). 계명산층은 변성심성산성암, 변성반심성산성암, 변성화산산성암(세립형, 혼합형), 변성염기성암, 변성역질암, 변성사질암, 결정질 돌로마이트질석회암 등 다양한 암상으로 구성되어 있다. 이들 구성암류는 주로 동북동 방향의 대상 분포를 보이고 중첩된 다변형작용에 의해 복잡한 분포 양상을 보인다. 이를 관입하는 중생대 화성암류는 흑운모화강암과 염기성암맥 등이 있고 매우 작은 규모로 산출된다(Kang *et al.*, 2017의 그림 5).

암상별 방사능 평균값은 변성암류에서 47~138 cps

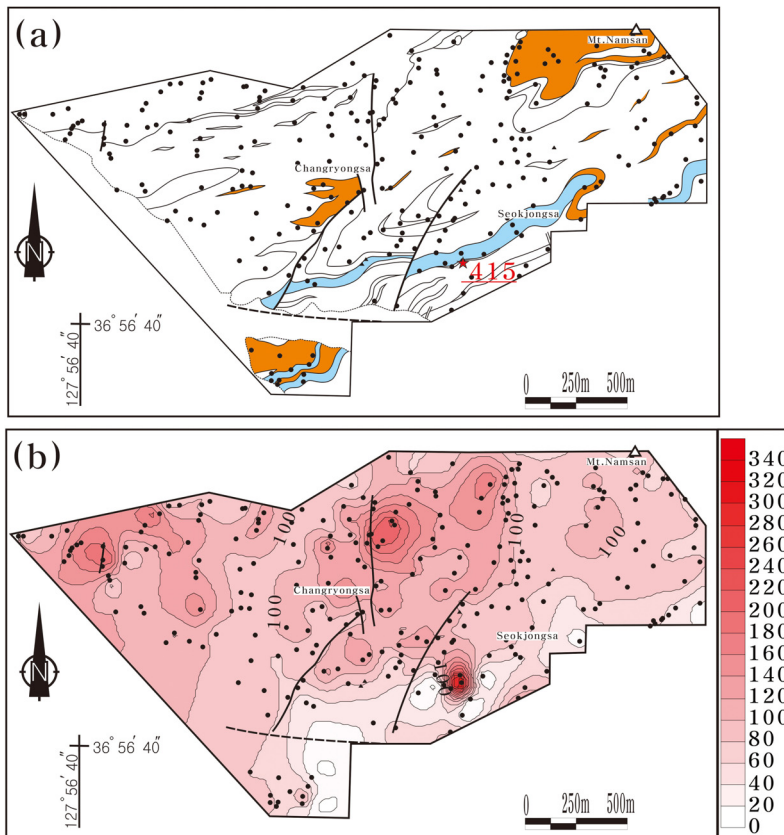


Fig. 7. Diagrams showing (a) the nude geological map (refer to Fig. 5 of Kang *et al.*, 2017 for details) and (b) the density distribution of the radioactive values in the Namsan area, Chungju. Dots: outcrop locations.

범위, 화성암류에서 27~88 cps 범위를 보이고, 변성 심성산성암(138 cps), 변성반심성산성암(113 cps), 혼합형 변성화산산성암(108 cps) 순으로 높다(그림 4c). 노두별 방사능 값은 남부에 분포하는 변성사질암에서 415 cps로 최대값을 보인다(그림 7, Kang *et al.*, 2017의 그림 5). 영역별 방사능 값은 북부에 분포하는 변성심성산성암과 변성반심성산성암에서 높게 나타나고, 고밀도 방사능 값의 분포영역은 항공탐사 자력 및 방사능 이상대의 고밀도 분포영역과 거의 일치한다(그림 3, 7). 그러나 남산지역의 계명산층 구성암류의 방사능 평균값과 최대값은 전술된 아래산과 철광산 지역들의 계명산층 구성암류에 비해 매우 낮다.

4.4 충주 향산리지역

계명산과 지등산 지구조단위들의 경계부에 위치한다(그림 1, 2). 계명산층은 변성반심성산성암, 변성화산산성암, 변성염기성암, 변성역질암, 변성사질암, 규암, 결정질 돌로마이트질석회암 등으로 구성된다(Kang *et al.*, 2017의 그림 6). 향산리 돌로마이트질석회암은 충주도폭에서 기재된 기존 분포지 뿐만 아니라 한가실 북부 계명산층 내에서도 연장성 있게 산출되고, 대향산규암은 향산리 돌로마이트질석회암의 구조적 하부 뿐만 아니라 상부 또는 계명산층 내에서도 역시 반복되어 산출된다(Kang *et al.*, 2017의 그림 6). 문주리층은 주로 변성염기성암과 소량의 변성사질암으로 구성되어 있고, 이들은 역시 중

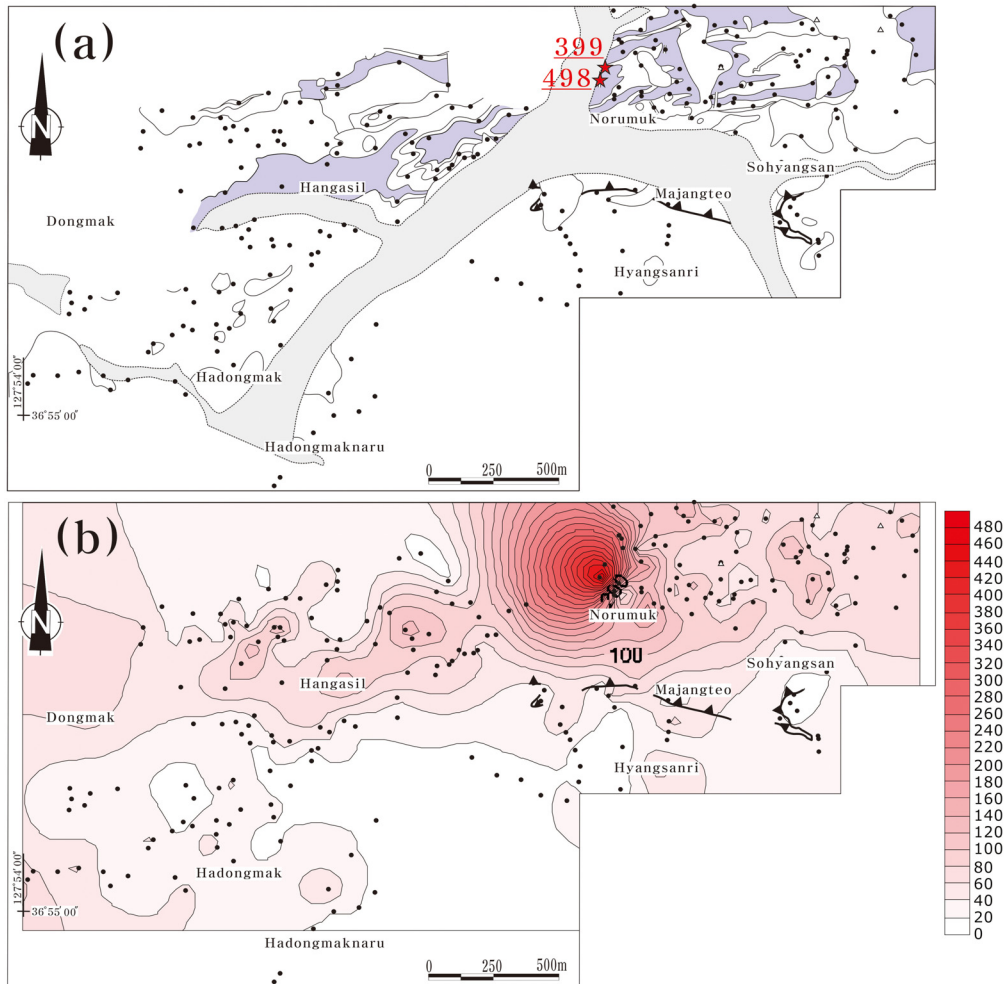


Fig. 8. Diagrams showing (a) the nude geological map (refer to Fig. 6 of Kang *et al.*, 2017 for details) and (b) the density distribution of the radioactive values in the Hyangsanri area, Chungju. Dots: outcrop locations.

침된 다변형작용에 의해 복잡한 분포 양상을 보인다. 이를 관입하는 중생대 화성암류는 흑운모화강암, 화강반암, 염기성암맥 등으로 구분되며, 흑운모화강암과 화강반암은 각각 이 지역의 서부와 동부에 다양한 규모로 광범위하게 산출된다(Kang *et al.*, 2017의 그림 6).

암상별 방사능 평균값은 변성암류에서 23~113 cps 범위, 화성암류에서 43~62 cps 범위를 보이고, 변성역질암(113 cps), 변성화산산성암(89 cps) 순으로 높게 나타난다(그림 4d). 중앙 북부에 분포하는 변성화산산성암과 변성역질암에서 각각 498 cps와 399 cps의 비교적 높은 방사능 최대값을 보인다(그림 8, Kang *et al.*, 2017의 그림 6). 방사능 평균값과 최대값은 전술된 남산지역과 유사하고, 역시 어래산과 철광산 지역들의 구성암류에 비해 매우 낮다.

4.5 충주 옥녀봉지역

지등산 지구조단위에 위치한다(그림 1, 2). 이 지역에 분포하는 문주리층은 기존 연구결과(Kim and Lee, 1965)와 달리 변성심성산성암, 변성반심성산성암, 변성화산산성암, 변성염기성암, 변성역질암 등으로 구분된다. 이들 구성암류는 (동)북동 방향의 대상분포를 보이고, 이들을 관입하는 중생대 흑운모화

강암은 남부에서 소규모 산포상으로 산출된다(Kang *et al.*, 2017의 그림 7).

암상별 방사능 평균값은 변성암류에서 63~140 cps 범위를 보이고, 흑운모화강암에서 72 cps를 보이고, 변성심성산성암(140 cps), 변성역질암(130 cps), 변성화산산성암(112 cps) 순으로 높게 나타난다(그림 4e). 북동부에 분포하는 변성심성산성암과 변성화산산성암에서 각각 460 cps와 450 cps의 비교적 높은 방사능 최대값을 보인다(그림 9a, Kang *et al.*, 2017의 그림 7). 방사능 값의 고밀도 분포영역은 항공탐사의 높은 자력 및 방사능 이상대의 분포영역과 거의 일치하고, 그 분포방향은 일차적으로 문주리층 구성암류의 대상분포 방향과 거의 일치한다(그림 3, 9b).

4.6 괴산 검승리지역

지등산과 황강리 지구조단위들의 경계부에 위치한다(그림 1, 2). 이 지역의 황강리층은 괴산도폭과 같이 흑색 함역천매암질암과 회색 함역석회질천매암질암의 변성역질암으로 구성되어 있는 반면에 운교리층은 괴산도폭과 달리 변성심성산성암, 변성반심성산성암, 변성화산산성암, 변성염기성암, 변성역질암 등으로 구분된다. 운교리층의 이러한 구성암류

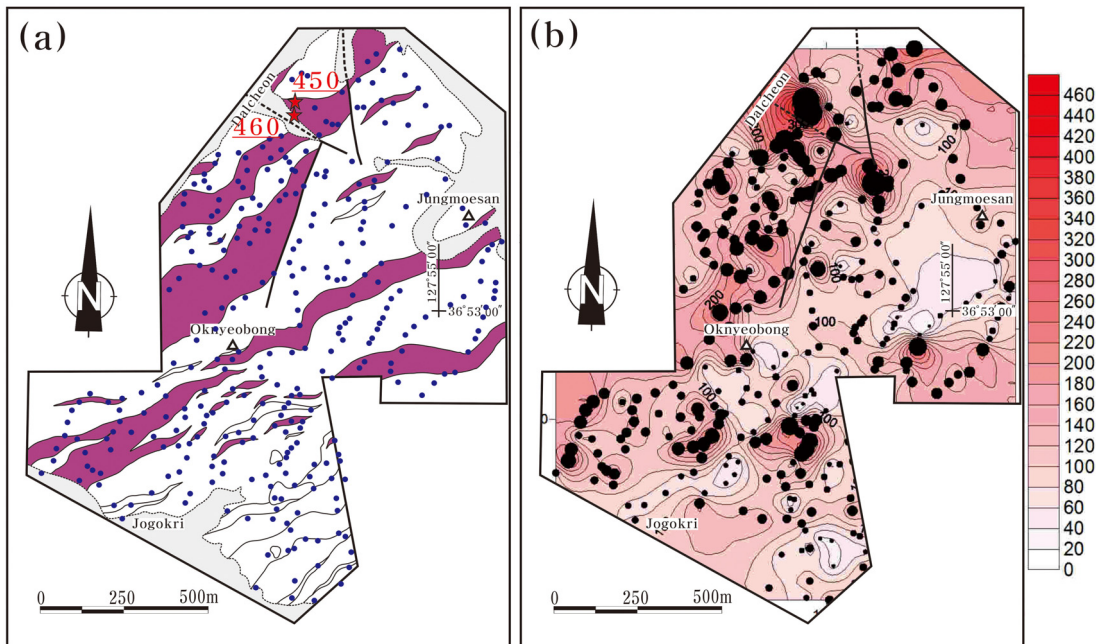


Fig. 9. Diagrams showing (a) the nude geological map (refer to Fig. 7 of Kang *et al.*, 2017 for details) and (b) the density distribution of the radioactive values in the Oknyeobong area, Chungju. Dots: outcrop locations.

및 그 분포는 전술된 옥녀봉지역의 문주리층과 거의 일치한다(Kang *et al.*, 2017의 그림 7, 8). 그리고 중생대 흑운모화강암은 이 지역의 남부에 소규모로 산출된다.

암상별 방사능 평균값은 운교리층의 변성암류에서 101~114 cps 범위, 황강리층에서 64 cps, 흑운모화강암 65 cps를 보이고, 운교리층의 변성화산산성암(114 cps)과 변성심성산성암(104 cps)에서 다소 높게 나타난다(그림 4f). 노두별 방사능 최대값은 중북부에 분포하는 변성화산산성암에서 240, 310 cps로 나타나고, 다른 지역들에 비해 낮다(그림 10a, Kang *et al.*, 2017의 그림 8). 노두별 방사능 값의 고밀도 분포영역은 높은 자력 및 방사선 이상대의 분포영역과 거의 일치하고, 고밀도 분포방향은 1차적으로 운교리층 구성암류의 분포 방향과 거의 직교하는 북서 방향을 보이고 2차적으로는 거의 평행한 동북동 방향을 보인다(그림 3, 10b). 그리고 황강리층의 방사능 값은 운교리층 보다 확연하게 낮다.

5. 고찰

최근 어래산지역에서 페그마타이트의 저어콘 U-Pb 연대가 약 190 Ma로 측정되었다(You *et al.*, 2012). 또한 어래산과 철광산 지역들에서 산출되는 페그마타이트질 화강암맥과 핑크색 흑운모화강암의 저어콘

입자들로부터 전기 주라기(약 187~194 Ma) $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 연대와 계명산층 내의 변성산성암 희토류 광체의 갈럼석 광물들로부터 전기 주라기(약 183~199 Ma)의 $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ 연대, 그리고 계명산층을 둘러싸며 충주시를 중심으로 광범위한 저반상 분포를 보이는 충주 화강암의 저어콘 입자들로부터는 중기 주라기(약 175~176 Ma) $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 연대가 각각 보고된 바가 있다(Cheong *et al.*, 2015). 그리고 이러한 전기 주라기 화성암류와 중기 주라기 화성암류에서 각각 측정된 전기 신원생대(853.9 ± 3.8 Ma)와 고원생대(1.76~2.48 Ga) 상속 저어콘들의 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 연대자료와 Sm-Nd 동위원소 분석자료(Cheong *et al.*, 2015)는 옥천변성대 북서부 영역에서는 전기 신원생대와 고원생대의 화성활동의 산물을 근원 물질로 하는 전기 주라기와 중기 주라기 화강암류가 각각 존재하고, 전기 주라기 화성활동은 희토류 광화작용과 밀접한 관련성이 있음을 의미한다.

옥천변성대 북서부 영역에서 중생대 화성암류는 산상적으로 크게 두 종류로 구분된다. 하나는 계명산층, 문주리층, 운교리층의 외부에서 저반상 내지 암주상으로 산출되는 것이고, 다른 하나는 이들 지층의 내부에서 암주상 내지 암맥상으로 산출되는 것이다(그림 1, 2). 전자의 대표적인 예로는 충주도폭의 북부, 서부, 남부에서 산출되는 흑운모화강암(그림 1, 2)이고, 후자는 어래산, 철광산, 향산리 지역들에서 계

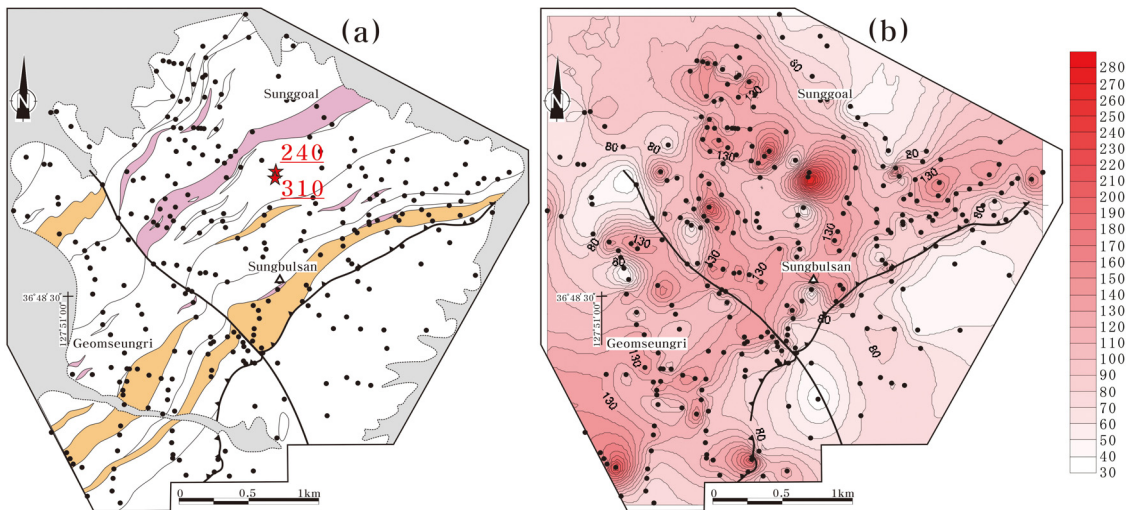


Fig. 10. Diagrams showing (a) the nude geological map (refer to Fig. 8 of Kang *et al.*, 2017 for details) and (b) the density distribution of the radioactive values in the Geomseungri area, Goesan. Dots: outcrop locations.

명산층과 문주리층을 관입하며 그 지역들에서 광범위하게 산출되는 흑운모화강암이다(Kang *et al.*, 2017의 그림 3, 4, 6). 후자의 흑운모화강암의 관입 및 접촉변성작용의 시기는 아래산지역의 조립형 변성심성산성암[중심부: 870 ± 66 Ma, 주변부: 194 ± 18 Ma (Kang *et al.*, 2012a)]과 화강암질편마암[중심부: 858.2 ± 6.3 Ma, 주변부: 약 190 Ma (Cheong *et al.*, 2015)]의 저어콘 입자들의 주변부로부터 측정된 전기 주라기 연대로부터 알 수 있다. 이는 옥녀봉지역과 그 부근에 분포하는 문주리층의 변성화산산성암[중심부: 755.8 ± 1.3 Ma, 주변부: 160 ± 19 Ma (Lee *et al.*, 1998)]의 저어콘 입자들의 주변부로부터 측정된 전기 주라기 연대와 다르고, 계명산층을 둘러싸며 충주시를 중심으로 저반상으로 산출되는 충주화강암의 저어콘 입자들로부터 측정된 전기 주라기(약 175~176 Ma) $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 연대(Cheong *et al.*, 2015)와 다르다.

이미 언급된 바와 같이 노두별 방사능 값의 밀도 분포도는 항공탐사 자력 및 방사능 이상대의 밀도 분포도와 거의 일치한다. 따라서 이 연구에서는 구성암상별 및 노두별 방사능 값과 그 밀도분포도는 충주-괴산지역의 희토류 광화대의 분포 양상 및 특성과 희토류 광체의 기원암을 파악하는데 이용하였다.

세부 지역별 방사능 최대값과 그 구성암상[아래산 지역: 1217 cps 변성심성산성암(함염기성형), 철광산 지역: 1404 cps 변성심성산성암과 980 cps 변성화산산성암(세립형), 남산지역: 415 cps 변성사질암, 향산리지역: 498 cps 변성화산산성암과 399 cps 변성역질암, 옥녀봉지역: 460 cps 변성심성산성암과 450 cps 변성화산산성암, 검승리지역: 310 cps 변성화산산성암]과 세부 지역별 방사능 최대평균값과 그 구성암상[아래산지역: 1039 cps 변성심성산성암(함염기성형), 철광산지역: 258 cps 페그마타이트, 남산지역: 138 cps 변성심성산성암, 향산리지역: 113 cps 변성역질암, 옥녀봉지역: 140 cps 변성심성산성암, 검승리지역: 114 cps 변성화산산성암(세립형)]을 비교해 보면, 충주-괴산지역에서 암상별 방사능 최대값과 최대평균값은 일반적으로 변성 심성 및 화산 산성암에서 높게 나타난다(그림 4). 특히 이들 값은 전기 주라기 흑운모화강암(Kang *et al.*, 2012a; Cheong *et al.*, 2015)이 광범위하게 분포하고, 전기 주라기 페그마타이트(You *et al.*, 2012; Cheong *et al.*, 2015)가 소규모로 분포하는 아래산지역과 철광산지역의 북부 영역에 산출되

는 변성 심성 및 화산 산성암에서 월등히 높게 나타난다. 비록 흑운모화강암이 광범위하게 분포하지만 철광산지역의 남부 영역과 향산리지역에 산출되는 변성 심성 및 화산 산성암에서는 낮게 나타난다(그림 5~8). 또한 아래산지역과 철광산지역의 북부 영역에 산출되는 변성심성산성암에서 희토류 광물인 갈럼석의 성장과 관련된 예비 미구조 연구결과에 의하면 갈럼석은 주로 광역엽리가 형성된 이후에 흑운모화강암의 관입과 관련된 열수변질작용으로 성장된 저어콘, 녹염석, 형석, (사)유렴석[(clino)zoisite], 자철석, 흑운모 등과 접촉 공생하며 성장하였음을 알 수 있다(Kang, in preparation). 이는 충주-괴산지역의 희토류 광화작용은 아래산지역과 철광산지역의 북부 영역에서 광범위하게 산출되는 전기 주라기 흑운모화강암과 소규모로 산출되는 전기 주라기 페그마타이트의 관입과 관련된 전기 주라기 화성활동과 밀접한 관련성이 있음을 의미한다. 그리고 철광산지역의 남부 영역과 향산리지역에서 산출되는 흑운모화강암은 이와 다른 기원의 마그마로부터 생성된 것으로 고찰된다.

변성 심성 및 화산 산성암은 옥천변성대 북서부의 거의 모든 지역에서 산출된다(Kang *et al.*, 2017의 그림 3~8). 세부 지역별 변성 심성 및 화산 산성암의 방사능 평균값[아래산지역: 130~221(함염기성형 변성심성화산암: 1039) cps, 철광산지역: 110~164 cps, 남산지역: 88~138 cps, 향산리지역: 89 cps, 옥녀봉지역: 112~140 cps, 검승리지역: 104~114 cps]을 종합해 보면, 방사능 최대값과 최대평균값이 월등히 높은 아래산과 철광산 지역들의 변성 심성 및 화산 산성암의 방사능 평균값은 110~221(최대 1039) cps 범위를 보이는 반면에 그 외 다른 지역들에서는 이들 값은 88~140 cps 범위를 보인다(그림 4). 이는 전기 주라기 화성활동은 충주-괴산지역의 구성암류의 방사능 평균값을 22~81 (최대 899) cps 이상의 상승 효과를 가져왔음을 지시한다. 그리고 Kang *et al.* (2018)의 연구결과를 고려해 볼 때 이러한 상승 효과는 아래산지역에 분포하는 함염기성 변성심성산성암이 그 근원암으로 되었을 때 최대가 된 것으로 고찰된다.

지금까지 고찰된 연구결과를 종합해 보면 옥천변성대 북서부 영역에서는 전기 신원생대와 고원생대의 화성활동의 산물을 근원 물질로 하는 전기 주라기와

중기 쥐라기 화성암류가 각각 존재하고, 전기 쥐라기 화성활동은 충주-괴산지역에서의 희토류 광화작용과 밀접한 관련성이 있는 것으로 판단된다(Cheong *et al.*, 2015; Kang, in preparation). 그리고 전기 쥐라기 화성암류는 주로 아래산지역과 철광산지역의 북부영역에 분포하는 계명산층 내에 소규모 암맥상의 페그마타이트와 암주상의 흑운모화강암으로 산출되고, 중기 쥐라기 화성암류는 주로 계명산층, 문주리층, 운교리층의 외부에서 저반상의 흑운모화강암으로 그리고 부분적으로 철광산지역의 남부영역과 향산리지역과 같이 계명산층, 문주리층, 운교리층의 내부에서의 암주상 흑운모화강암으로 산출되는 것으로 고찰된다. 따라서 충주-괴산지역에 발달하는 희토류 광화대의 특성을 보다 세부적으로 파악하기 위해서는 추후 아래산, 향산리, 철광산 지역들에 광범위하게 분포하는 흑운모화강암을 포함하여 옥천변성대 북서부에 분포하는 중생대 화성암류에 대한 보다 체계적인 지구연대학, 지구화학, 암석학, 미구조 연구를 통하여 이들을 전기와 중기 쥐라기 화성암류로 분류하고, 이들 각각의 분포 및 산상의 특성에 대한 보다 심도 있는 연구가 요구된다.

6. 결 론

옥천변성대 북서부의 주요 지층들은 변성이질암, 화강암질편마암, 함철규암, 변성심성산성암, 변성반심성산성암, 변성화산산성암, 변성염기성암, 변성역질암, 변성사질암, 규암, 결정질 돌로마이트질석회암 등으로 구성되어 있고, 이들을 관입하는 중생대 화성암류는 페그마타이트, 흑운모화강암, 반려암, 섬록암, 화강반암, 염기성암맥 등으로 구분된다.

세부 지역별 방사능 최대값 내지 최대평균값은 일반적으로 변성 심성 및 화산 산성암에서 높게 나타난다. 특히 전기 쥐라기 흑운모화강암이 광범위하게 분포하고 전기 쥐라기 페그마타이트가 소규모로 분포하는 아래산지역의 변성심성산성암(함염기성형)(최대값: 1217 cps, 평균값: 1039 cps)과 철광산지역의 북부 영역의 변성 심성(최대값: 1404 cps) 및 화산(최대값: 980 cps) 산성암에서 월등히 높게 나타난다. 이는 충주-괴산지역의 희토류 광화작용은 전기 쥐라기 화성활동과 밀접한 관련성이 있음을 의미한다.

변성 심성 및 화산 산성암은 옥천변성대 북서부

의 거의 모든 지역에서 산출된다. 세부 지역별 변성 심성 및 화산 산성암의 방사능 평균값을 종합해 보면 아래산지역과 철광산지역에서는 110~221 (최대 1039) cps 범위를 보이는 반면에 그 외 다른 지역들에서는 88~140 cps 범위를 보인다. 이는 충주-괴산 지역에서 전기 쥐라기 화성활동은 이 지역 구성암류의 방사능 평균값을 적어도 22~81 (최대 899) cps 범위 이상을 증가시켰음을 의미한다. 이러한 상승효과와는 아래산지역에 분포하는 함염기성 변성심성산성암이 그 근원암으로 되었을 때 최대가 된 것으로 판단된다.

옥천변성대 북서부 영역에서는 전기 신원생대와 고원생대의 화성활동의 산물을 근원 물질로 하는 전기 쥐라기와 중기 쥐라기 화성암류가 각각 존재하고, 전기 쥐라기 화성활동은 희토류 광화작용과 밀접한 관련성이 있는 것으로 판단된다. 따라서 충주-괴산지역에 발달하는 희토류 광화대의 특성을 보다 세부적으로 파악하기 위해서는 추후 옥천변성대 북서부에 분포하는 중생대 화성암류에 대한 보다 체계적인 지구연대학, 지구화학, 암석학, 미구조 연구를 통하여 중생대 화성암류의 시대적 분류, 분포, 산상에 대한 보다 심도 있는 연구가 요구된다.

감사의 글

이 연구는 한국지질자원연구원의 국내 희유금속 자원 탐사 및 활용기술개발 사업과 정보 융합형 광물자원기술개발 사업의 지원으로 수행되었다. 귀중한 시간을 할애하여 이 논문을 심사하면서 유익한 지적과 조언을 해 주신 익명의 심사위원과 전남대학교 길영우 교수 그리고 편집위원께 감사드립니다.

REFERENCES

- Cheong, C.-S., Kim, N., Yi, K., Jo, H.J., Jeong, Y.-J., Kim, Y., Koh, S.-M. and Iizuka, T., 2015, Recurrent rare earth element mineralization in the northwestern Okcheon Metamorphic Belt, Korea: SHRIMP U-Th-Pb geochronology, Nd isotope geochemistry, and tectonic implications. *Ore Geology Reviews*, 71, 99-115.
- Cho, M., Kim, T. and Kim, H., 2004, SHRIMP U-Pb zircon age of a felsic meta-tuff in the Ogcheon Metamorphic Belt, Korea: Neoproterozoic (ca. 750 Ma) volcanism. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 13, 119-125.

- (in Korean with English abstract).
- Cluzel, D., Cadet, J.P. and Lapierre, H., 1990, Geodynamics of the Ogcheon belt (South Korea). *Tectonophysics*, 183, 41-56.
- Kang, J.-H., 1994a, Tectonic evolution of the Ogcheon zone, South Korea. Ph.D. thesis, Hiroshima University, Japan, 119 p.
- Kang, J.-H., 1994b, Geological structure and tectonics of the Ogcheon zone in the Chungju-Jangseonri area, South Korea. *Journal of Science of the Hiroshima University Series C*, 10, 11-23.
- Kang, J.-H., 2001, Geological structure of the Ogcheon metamorphic zone in the Busan area, Korea: a new geodynamic model to the heart-shaped Busan gneiss complex. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 10, 106-120 (in Korean with English abstract).
- Kang, J.-H., Hara, I., Hayasaka, Y., Sakurai, Y., Shiota, T. and Umemura, H., 1993, Time-relationship between deformation and metamorphism of the Ogcheon zone in the Ogcheon district, South Korea. *The Memorial of the Geological Society of Japan*, 42, 63-90.
- Kang, J.-H., Hayasaka, Y., Katube, A., Lee, D.-S., Koh, S.-M., Ryoo, C.-R. and Noh, S.-Y., 2012a, SHRIMP zircon age of Gyemyeongsan Formation in the Eoraesan area, Chungju, Korea. *Proceedings of the Annual Joint Conference, the Petrological Society of Korea and the Mineralogical Society of Korea (Abstracts)*, Seoul, May 17-19, 73-75.
- Kang, J.-H., Hayasaka, Y. and Ryoo, C.-R., 2012b, Tectonic evolution of central Ogcheon Belt, Korea. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 21, 129-150 (in Korean with English abstract).
- Kang, J.-H., Lee, D.-S. and Koh, S.-M., 2018, Geology and constituent Rocks, and radioactive values of the Eoraesan Area, Chungju, Korea. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 27, 85-96 (in Korean with English abstract).
- Kang, J.-H., Lee, D.-S., Noh, S.-Y., Jeong, J.-W. and Koh, S.-M., 2017, Geology and constituent rocks of the Chungju-Goesan area in the northwestern part of Ogcheon metamorphic zone, Korea: Considering on the history of igneous activities accompanying formation and evolution processes of the Ogcheon rift basin. *Journal of the Geological Society of Korea*, 53, 51-77 (in Korean with English abstract).
- Kang, J.-H. and Ryoo, C.-R., 1997, Igneous activity and geological structure of the Ogcheon metamorphic zone in the Kyemyeongsan area, Chungju, Korea. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 6, 151-165 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.-S., Park, M.-E. and Kim, G.-S., 1998, A geochemical study of the alkali granite in the Kyeomyeongsan Formation. *Economic and Environmental Geology*, 31, 349-360 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.W., Park, J.K. and Koh, S.M., 1995, Geology and mineral deposits on the Ogcheon Group. Ministry of science and technology. KR-95(B)-4, 52 p (in Korean).
- Kim, K.W. and Lee, H.K., 1965, Geological report of the Chungju sheet (1:50,000), Korea. Institute of Energy and Resources, 35 p (in Korean with English abstract).
- Kim, M.-J., Park, K.-H., Park, Y.-J. and Choi, J.-E., 2011, SHRIMP U-Pb ages of the Gyemyeongsan Formation, Okcheon Metamorphic Belt. *Proceedings of the Annual Joint Conference Mineralogical Society of Korea and Petrological Society of Korea (Abstracts)*, Jinju, May 26-27, 51 p (in Korean).
- Kim, S.W., Oh, C.W., Ryu, I.-C., Williams, I.S., Sajeev, K., Santosh, M. and Rajesh, V.J., 2006, Neoproterozoic bimodal volcanism in the Okcheon Belt, South Korea, and its comparison with the Nanhua Rift, South China: Implications for rifting in Rodinia. *Journal of Geology*, 114, 717-733.
- Koh, S.-M., Kim, J.H. and Park, K.H., 2005, Neoproterozoic A-type volcanic activity within the Okcheon metamorphic belt. 14, 157-168 (in Korean with English abstract).
- Koo, J.H., Park, Y.S., Lim, M.T., Suh, S.Y. and Choi, J.H., 1986, A report on airborne radiometric and magnetic survey. In regional geophysical and geochemical studies for the exploration of mineral deposits. Korea Institute of Energy and Resources. KR-86-2-4, 7-27 (in Korean with English abstract).
- Lee, C.H. and Kim, J.H., 1972, Geological report of the Goesan sheet (1:50,000), Korea. Institute of Energy and Resources, 22 p (in Korean with English abstract).
- Lee, J.H., Lee, H.Y., Yu, K.M. and Lee, B.S., 1989, Discovery of microfossils from limestone pebbles of the Hwanggangri Formation and their stratigraphic significance. *Journal of the Geological Society of Korea*, 25, 1-15.
- Lee, K.-S., Chang, H.-W. and Park, K.-H., 1998, Neoproterozoic bimodal volcanism in the central Ogcheon belt, Korea: age and tectonic implication. *Precambrian Research*, 89, 47-57.
- Lim, S.-B., Chun, H.Y., Kim, Y.B., Kim, B.C. and Cho, D.-L., 2005, Geologic ages, stratigraphy and geological structures of the metasedimentary strata in Bibong ~ Yeonmu area, NW Okcheon belt Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 41, 335-368 (in Korean with English abstract).
- Min, K., Cho, M., Kwon, S.-T., Kim, I.J., Nagao, K. and Nakamura, E., 1995, K-Ar ages of metamorphic rocks in the Chungju area: Late Proterozoic (675 Ma) meta-

- morphism of the Ogcheon belt. *Journal of the Geological Society of Korea*, 31, 315-327 (in Korean with English abstract).
- Na, K.C., Kim, H.S., Lee, D.J. and Lee, S.H., 1982, Comparative studies between Chungju and Seosan Groups. *Journal of Korean Institute of Mining Geology*, 15, 177-188 (in Korean with English abstract).
- Oh, M.S., 1989, Allanite mineralization in the Mt. Eorae Area. *Journal of Korean Institute of Mining Geology*, 22, 151-166 (in Korean with English abstract).
- Oh, M.S., Seo, J.R., Koo, S.B. and Choi, C.H., 1988, Rare-earth mineralization in Kyemyungsan Formation of Ogcheon Group, Mt. Eorae area near Chungju city, Middle Korea. *Korea Institute of Energy and Resources Research Report*, KR-88-8A, 3-112 (in Korean with English abstract).
- Park, M.-E. and Kim, G.-S., 1995, Genesis of the REE ore deposits, Chungju district, Korea: Occurrence features and geochemical characteristics. *Journal of Economic and Environmental Geology of Korea*, 28, 599-612 (in Korean with English abstract).
- Park, M.-E. and Kim, G.-S., 1998, Geochemistry of uranium and thorium deposits from the Kyemyeongsan pegmatite. *Journal of Economic and Environmental Geology of Korea*, 31, 365-374 (in Korean with English abstract).
- Park, M.-E., Kim, G.-S. and Park, K.-H., 2005, Genesis of the acidic metavolcanic rocks distributed around the Chungju iron deposit in the Gyemyeongsan Formation. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 14, 169-179 (in Korean with English abstract).
- Reedman, A.J., Fletcher, C.J.N., Evans, R.B., Workman, R.B., Yoon, K.S., Rhyu, H.S., Jeong, S.W. and Park, J.N., 1973, Geological, geophysical and geochemical investigations in the Hwanggangni area Chungchong Pukdo. *Geological and Mineral Institute of Korea. Report of Geological and Mineralogical Exploration*, Part II, 1, 1-118.
- Suzuki, K., Dunkley, D., Adachi, M. and Chwae, U., 2006, Discovery of a c. 370 Ma granitic gneiss clast from the Hwanggangri pebble-bearing phyllite in the Okcheon metamorphic belt, Korea. *Elsevier*, 9, 85-94.
- You, B.-W., Lee, G.J. and Koh, S.M., 2012, Mineralogy and mineral-chemistry of REE minerals occurring at mountain Eorae, Chungju. *Journal of Economic and Environmental Geology of Korea*, 45, 643-659 (in Korean with English abstract).

Received : August 6, 2018

Revised : August 28, 2018

Accepted : August 28, 2018