

옥천변성대 북서부 충주-괴산지역의 지질 및 구성암류: 옥천열곡분지의 형성 및 진화과정에 수반된 화성활동사 고찰

강지훈^{1,‡} · 이덕선¹ · 노신영¹ · 정진우¹ · 고상모²

¹안동대학교 지구환경과학과

²한국지질자원연구원 DMR융합연구단

요 약

충주-괴산지역에서 암상단위 구분에 의한 상세한 지질도를 작성하여 옥천변성대 북서부의 지질 및 구성암류를 파악하고, 옥천열곡분지의 형성 및 진화과정에 수반된 화성활동사를 고찰하였다. 변성암류는 변성이질암, 화강암질편마암, 함철규암, 변성심성산성암, 변성반심성산성암, 변성화산산성암, 변성염기성암, 변성역질암, 변성사질암, 규암, 결정질 돌로마이트질석회암 등으로 구분되며, 이들을 관입하는 중생대 화성암류는 페그마타이트, 흑운모화강암, 반려암, 섬록암, 화강반암, 염기성암맥 등으로 구분된다. 계명산층은 퇴적기원과 화성기원의 변성암류로 구성되어 있는 반면에 문주리층과 윤교리층의 구성암류는 동일하고 주로 화성기원의 변성암류로 되어 있다. 변성역질암은 3종류로 구분된다. 계명산층과 문주리층은 주로 화산산성암 기질에 화산 및 심성 산성암을 주 구성역으로 하고, 구성역의 크기 및 함량과 산상이 서로 다르다. 반면에 황강리층은 주로 이질암 기질에 석회암을 주 구성역으로 한다. 옥천퇴적분지의 열곡작용과 이에 수반된 화성활동은 적어도 4회 발생하였다. 전기와 중기 신원생대 열곡작용은 각각 계명산층과 문주리층(윤교리층)이 분포하는 옥천변성대의 북서부에서 발생하여 다량의 화산 및 심성 산성암류와 함께 계명산층과 문주리층 변성역질암을 산출시켰다. 전기와 중기 고생대 열곡작용은 각각 옥천변성대의 남동부와 중앙부에서 우세하게 발생하여 다량의 화산·심성 염기성암류와 황강리층 변성역질암을 산출시켰다. 전기 신원생대 화성암류를 근원 물질로 하는 전기 주라기 페그마타이트는 계명산층 내에 소규모 암맥으로 산출하고, 흑운모화강암은 광역적으로 분포하며 구성암류를 접촉 변성시켰다.

주요어: 옥천변성대, 충주-괴산지역, 옥천열곡분지, 화성활동사, 변성역질암

Ji-Hoon Kang, Deok-Seon Lee, Sin-Young Noh, Jin-Woo Jeong and Sang-Mo Koh, 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. v. 53, no. 1, p. 51-77

ABSTRACT: The geology and constituent rocks of the northwestern part of Ogcheon metamorphic zone (OMZ), based on detailed geological maps drawn by lithofacies classification in the Chungju-Goesan area, Korea, have been figured out, and the history of igneous activities accompanying formation and evolution processes of the Ogcheon rift basin has been considered in this paper. The metamorphic rocks are divided into metapelitic rock, granitic gneiss, iron-bearing quartzite, metaplutonic, metahypabyssal, metavolcanic acidic rocks, metabasic, metaconglomerate, metapsammitic rocks, quartzite, crystalline dolomitic limestone, and Mesozoic igneous rocks are divided into pegmatite, biotite granite, gabbro, diorite, granite porphyry, basic dyke. The Gyemyeongsan Formation consists of metamorphic rocks derived from sedimentary and igneous origins, but the Munjuri and Unkyori Formations, which constituent rocks are identical, consist mainly of metamorphic rocks from igneous origin. Metaconglomerate rock is classified into three types. The Gyemyeongsan and Munjuri types are mainly composed of volcanic and plutonic pebbles in volcanoacidic matrix, but they are different from each other in the pebble content, size and occurrence. However the Hwanggangri type is mainly of limestone pebbles in pelitic matrix. The rifting of the Ogcheon basin and its associated igneous activities occurred four times at least. The Early and Middle Neoproterozoic riftings took place in the northeastern part of OMZ, and the Gyemyeongsan and Munjuri types of metaconglomerate rocks with a mess of volcanic and plutonic acidic rocks yielded there in which the

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

Gyemyeongsan and Munjuri (Unkyori) Formations are distributed, respectively. The Early and Middle Paleozoic riftings took place in the southeastern and central parts of OMZ, respectively, and produced a mess of volcanic and plutonic basic rocks and the Hwanggangri type of metaconglomerate rocks there, respectively. The Early Jurassic pegmatite with the source material of the Early Neoproterozoic igneous rocks occur as dyke, and the biotite granite regionally intruded into the Gyemyeongsan Formation, producing contact metamorphosed rocks.

Key words: Ogcheon metamorphic zone, Chungju-Goesan area, Ogcheon rift basin, history of igenous activities, metaconglomerate rock

(*Ji-Hoon Kang, Deok-Seon Lee, Sin-Young Noh and Jin-Woo Jeong, Department of Earth and Environmental Sciences, Andong National University, Andong 36729, 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. 서론

옥천대에 대한 지체구조론적 연구는 한반도를 포함한 동북 아시아의 지질 및 지체구조를 이해하고 해석하는데 매우 중요함으로 지금까지 많은 국내·외 연구자들에 의해 수행되어져 왔다. 그러나 다변성-다변형작용을 겪은 옥천누층군의 유사한 암상들에 대한 기존 지층명의 다양함은 옥천변성대의 구성암류에 대한 지역별 층서대비(Choi and Kim, 1981) 및 지질구조 해석(Kang *et al.*, 1993, 2012b; Kang, 1994a, 1994b; Kang and Ryoo, 1997)에 많은 혼란을 가져왔으며, 나아가 옥천(변성)대의 지체구조 형성과 관련된 지구조운동을 파악하는데 많은 어려움을 주고 있다.

연구지역인 충주-괴산지역은 옥천변성대의 북서부에 위치하고 있으며(그림 1), 옥천변성대의 주요 지층인 계명산층, 향산리돌로마이트층, 대향산규암층, 문주리층, 운교리층, 황강리층 등이 분포한다(Kim and Lee, 1965; Lee and Kim, 1972). 특히 이 지역에는 대륙판 내부의 옥천열곡작용과 관련된 쌍봉형(bimodal) 화성활동의 산물인 화산암과 심성암 기원의 변성화성암류가 다량 산출되고 있어(e.g., Cluzel *et al.*, 1990; Kang, 1994a, 1994b; Kang and Ryoo, 1997), 옥천열곡분지의 형성 및 진화과정, 열곡작용과 화성활동 사이의 관계, 나아가 옥천변성대의 지구조 발달과정을 연구하는데 있어 매우 중요한 지역이다. 따라서 최근까지 충주-괴산지역에 분포하는 이들 지층에 대한 층서적 상하관계(e.g., Kim and Lee, 1965; Lee and Park, 1965; Reedman *et al.*, 1973; Choi and Kim, 1981; Ihm *et al.*, 1991; Ryu and Kim, 2009), 생성시기(Lee, D.S. *et al.*, 1972; Lee, H.-Y. *et al.*,

1989; Lee, J.H. *et al.*, 1989; Lee *et al.*, 1998; Cho *et al.*, 2004; Kim *et al.*, 2006, 2011; Suzuki *et al.*, 2006; Park *et al.*, 2011; Kang *et al.*, 2012a; Cheong *et al.*, 2015), 형성환경(Lee, K.-S. *et al.*, 1998; Park and Kim, 1995; Kim *et al.*, 1998, 2006; Koh *et al.*, 2005; Park *et al.*, 2005) 등에 관한 고생물학적, 광물 및 광상학적, 암석 및 지구화학적, 지구연대학적, 구조지질학적 연구가 활발히 진행되어 왔다.

충주도폭(Kim and Lee, 1965)에서 계명산층과 문주리층이 각각 흑운모-석영 준편마암류의 변성사질암과 녹니석편암의 변성이질암으로 주로 구성되어 있다고 기재된 이래, 계명산층과 문주리층의 대부분이 변성퇴적암류로 되어있다는 견해가 우세하였다(e.g., Reedman *et al.*, 1973; Reedman and Um, 1975; Lee, 1999). 그러나 실제로 계명산층과 문주리층은 대륙판 내부의 열곡작용과 관련된 쌍봉형 화성활동의 산물로 주로 구성되어 있고(Cluzel *et al.*, 1990; Kang, 1994a, 1994b; Kang and Ryoo, 1997), 이러한 사실은 A1형(Eby, 1992) 마그마 특성을 보이는 이들 구성암류의 지구화학적 분석과 특성으로부터 증명되었다(Park and Kim, 1995; Kim *et al.*, 1998; Lee *et al.*, 1998; Koh *et al.*, 2005; Park *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2006). 또한 그 시기는 계명산층 내의 변성화산암(Kim *et al.*, 2006, 2011)과 변성심성암(Kang *et al.*, 2012a; Cheong *et al.*, 2015)에서 그리고 문주리층 내의 변성화산암(Lee *et al.*, 1998; Cho *et al.*, 2004; Kim *et al.*, 2006)에서 측정된 U-Pb 저어콘 연령으로부터 전기 신원생대와 중기 신원생대로 각각 보고된 바가 있고, 계명산층 내에 산출되는 희유원소 광상(Park and Kim, 1995)과 알칼리화강암(Kim *et al.*, 1998) 그리고 변성화산암(Park *et al.*, 2005)에

서 측정된 Sm-Nd 전암 연령으로부터는 중기 고생대로 알려진 바가 있다. 그리고 대항산규암에서 분리된 화성기원 쇄설성 저어콘으로부터는 전기 고생대의 화성활동이 보고된 바가 있고(Park *et al.*, 2011), 최근 계명산층 내에 소규모로 산출되는 화강암맥과

흑운모화강암의 U-Th-Pb 연대자료와 Sm-Nd 동위원소 분석자료로부터는 전기 신원생대 화성활동의 산물을 근원 물질로 하는 전기 주라기의 화성활동이 보고된 바가 있다(Cheong *et al.*, 2015).

그러나 계명산층과 문주리층은 쌍봉형 화성활동

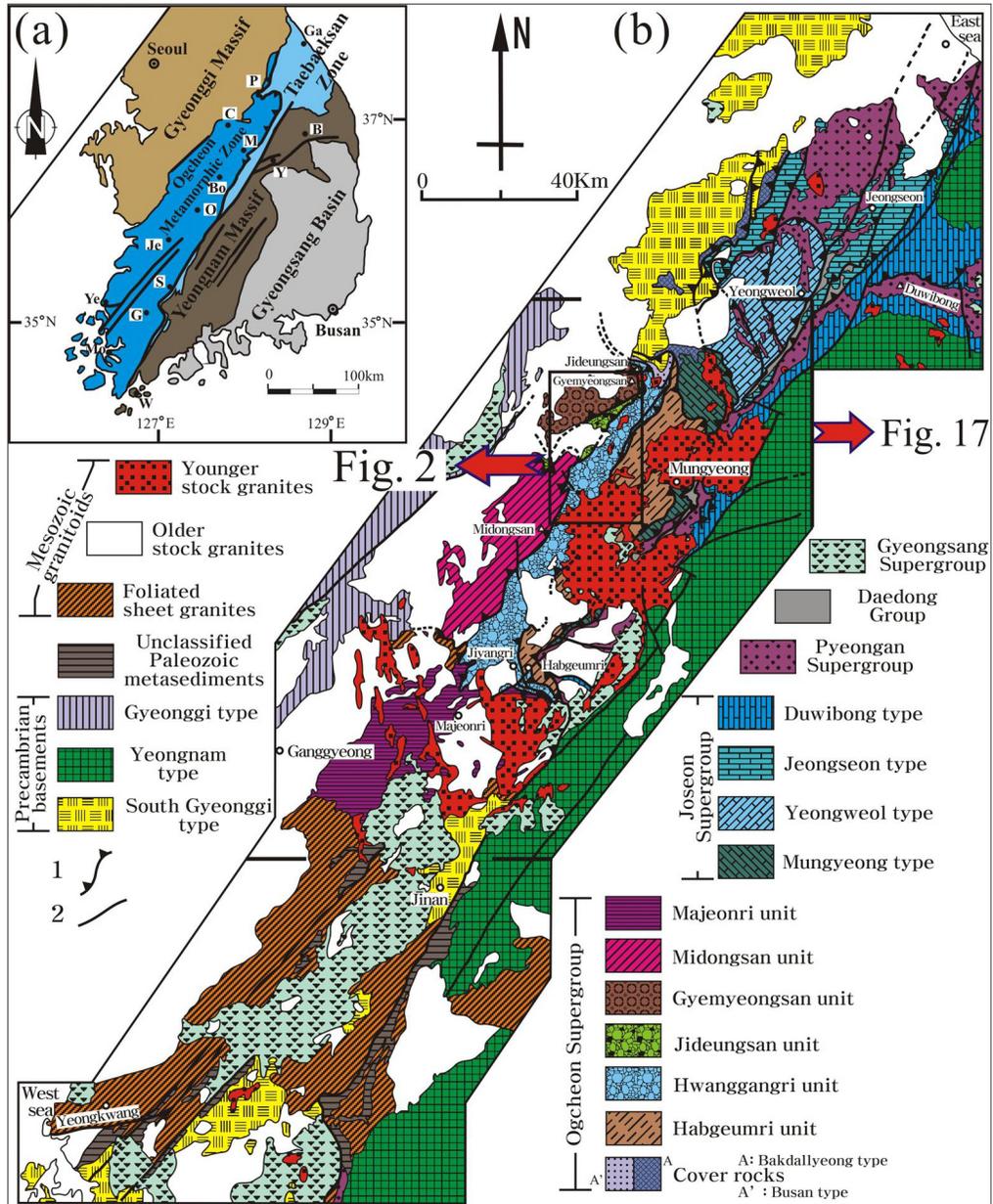


Fig. 1. (a) Tectonic province maps of the Korean Peninsula and (b) geological map showing the division of stratigraphic sequences and structural units in the Ogcheon Belt with the locality of study area (modified from Kang *et al.*, 2012b). 1: Thrusts, 2: Faults, B: Bonghwa, Bo: Boeun, C: Chungju, G: Gwangju, Ga: Gangneung, Je: Jeonju, M: Mungyeong, Mo: Mokpo, O: Ogcheon, P: Pyeongchang, S: Sunchang, S.: South, W: Wando, Y: Yecheon, Ye: Yeongkwang.

과 관련된 변성화성암류로 주로 구성되어 있고, 변성화산암(Na *et al.*, 1982; Kang, 1994a, 1994b, Kim *et al.*, 1995), 변성심성암(Kang, 1994a, 1994b), 변성 역질암(Kang and Ryoo, 1997), 알칼리화강암(Park and Kim, 1995; Kim *et al.*, 1998), 페그마타이트(Park and Kim, 1998; You *et al.*, 2012) 등 단일 암층이 아닌 다양한 암상으로 구성되어 있음에도 불구하고, 이들 구성암류의 분포 및 산상적 특징에 대한 어떠한 정보도 지금까지 거의 제공된 바가 없다(cf., Kang, 1994a, 1994b; Kang and Ryoo, 1997). 또한 지금까지의 연구결과는 충주도폭에서 층서학적 개념으로 사용한 계명산층과 문주리층의 퇴적층명을 그대로 사용하여, 이들 지층에서 채취된 노두위치의 암석시료 내지 일정한 영역의 노두단면에 대한 기재만으로 옥천퇴적분지의 생성 시기 및 환경과 옥천변성대 북서부 영역의 층서적 상관관계와 지질 및 지체구조 등을 논의하고 있다. 따라서 이러한 연구결과를 바탕으로 옥천퇴적분지의 형성과 진화과정 나아가 옥천변성대의 지구조 발달과정에 대한 실체를 파악하고 논의하기란 매우 어려운 실정이다.

이에 본 논문에서는 계명산층, 대향산돌로마이트층, 대향산규암층, 문주리층, 운교리층, 황강리층 등 옥천변성대 북서부의 주요 지층들이 분포하고, 이들 지층 사이의 지질학적인 관계를 직접 조사할 수 있는 충주 어래산, 철광산, 남산, 향산리, 옥녀봉 지역들과 괴산 검승리지역 등을 그 연구지역(그림 1)으로 선정하여 이들 주요 지층에 대한 정밀한 야외지질조사를 통하여 이들 지층의 구성암류와 그 분포를 파악하고, 암상단위 구분에 의한 상세한 지질도를 작성하였다. 그리고 이를 바탕으로 최근까지 옥천변성대에서 보고된 절대연령자료와 지구화학적 자료를 참고하여 옥천열곡분지의 형성 및 진화 과정에 수반된 화성활동사를 고찰하고, 추후 옥천열곡분지의 열곡작용과 퇴적과정, 옥천누층군의 지질시대와 화성활동, 옥천변성대의 지질 및 지체구조와 지구조 발달과정에 대한 실체를 파악하고 논의하기 위한 정보를 제공하고자 하였다.

2. 지질학적 배경

한반도 중남부 지역에 북동-남서 방향으로 발달하고 있는 옥천대는 주로 선캄브리아 변성암복합체

로 구성된 경기육괴와 영남육괴에 의해 그 북서부와 남동부가 각각 경계져 있고, 문경-단양-영월-평창을 연결선을 경계로 주로 고생대 및 중생대 퇴적암류들이 분포하는 북동부 옥천대(태백산대)와 주로 옥천누층군이 분포하는 남서부 옥천대(옥천변성대)로 구분된다(그림 1).

옥천변성대에 분포하는 옥천누층군은 대륙판 내부의 열곡작용과 관련된 퇴적암류 및 화산·심성암류 기원의 변성암류로 구성되어 있다(e.g., Cluzel *et al.*, 1990; Kang 1994a, 1994b; Kang and Ryoo, 1997). Cluzel *et al.* (1990)은 옥천변성대를 전기 고생대에 열곡된 하나의 퇴적분지로 해석하여 옥천누층군의 층서를 하부로부터 열곡운동 이전의 전기 캄브리아기~전기 오르도비스기 안정대지상 퇴적물(주로 석영사질암과 탄산염질암), 후기 캄브리아기~중기 오르도비스기 열곡작용에 수반된 쌍봉형 화성활동 산물(화산 및 심성 산성·염기성암류), 그리고 전기 오르도비스기~중기 실루리아기 동안의 경동운동과 관련된 플리쉬상(flysch-type) 퇴적물(주로 역질암) 순으로 하여 옥천누층군의 지질시대를 전기 고생대로 설정하고, 이러한 옥천누층군은 중기 고생대 옥천조산운동에 의해 형성된 이화령, 보은, 두릉산, 충주, 피반령 지구조단위에 분산되어 분포함을 주장한 바가 있다.

그러나 Cluzel *et al.* (1990)에 의해 대륙판 내부의 열곡작용 산물로 알려진 옥천누층군 변성산성암류의 절대연령은 약 852~892 Ma의 전기 신원생대(Kim *et al.*, 2006, 2011; Kang *et al.*, 2012a; Cheong *et al.*, 2015)와 약 747~762 Ma의 중기 신원생대(Lee *et al.*, 1998; Cho *et al.*, 2004; Kim *et al.*, 2006), 약 424~463 Ma의 전기 고생대(Cho *et al.*, 2009, 2014, Park *et al.*, 2011; Cheong *et al.*, 2015), 그리고 약 330~398 Ma의 중기 고생대(Park and Kim, 1995; Kim *et al.*, 1998; Park *et al.*, 2005; Lim *et al.*, 2005) 등으로 다양하게 측정되었고, 옥천변성대 남서부지역에 분포하는 옥천누층군의 저변성도 변성사질암에서는 후기 석탄기~페름기의 식물화석이 새롭게 발견되었으며(Lim *et al.*, 2005, 2006, 2007), 옥천누층군의 변성 역질암(Suzuki *et al.*, 2006)과 변성사질암(Lim *et al.*, 2005)에서도 중기~후기 고생대의 절대연령 측정치가 계속적으로 보고되고 있다. 그리고 최근 Kang *et al.* (2012b)은 옥천누층군의 이러한 절대 연대자료와

화석 연대자료 그리고 지질구조적 자료를 종합하여 옥천누층군의 지질시대를 신원생대~후기 고생대로 설정하고, 옥천퇴적분지의 열곡작용과 이에 수반된 화성활동이 1회(전기 고생대: Cluzel *et al.*, 1990)가 아닌 적어도 4회(전기 신원생대, 중기 신원생대, 전기 고생대, 중기 고생대) 이상 발생하였다고 하였다. 이들 중 신원생대의 열곡작용은 계명산층과 문주리층이 분포하는 옥천변성대의 북서부 영역에서 우세하게 발생하여 이들 지층에 다량의 화산 및 심성 화성암류를 산출시켰고, 전기 고생대의 열곡작용은 옥천변성대의 남동부에서 우세하게 발생하여 옥천누층군 하부층군의 구성암류인 화산 및 심성 염기성암류를 산출시켰으며, 중기 고생대의 열곡작용은 옥천변성대의 중앙부에서 활발하게 발생하여 옥천누층군의 상부층군에 해당하는 황강리층의 변성역질암과 이와 교호하는 화산산성암류를 다량 산출시켰다고 하였다.

Kang (1994a, 1994b)은 고생물학적, 지구연대학적, 변성암석학적, 그리고 구조지질학적 연구자료 등을 바탕으로 옥천누층군을 주로 변성탄산염질암, 고변성도의 변성이질암, 규암, 변성염기성암으로 구성된 전기 고생대의 하부층군과 주로 변성역질암, 변성산성암, 저변성도의 변성이질암으로 구성된 후기 고생대의 상부층군으로 설정하고, 옥천누층군을 구조 및 변성도의 불연속에 의해 인지되는 6개의 지구조단위 즉 구조적 하부로부터 합금리, 황강리, 지등산, 계명산, 미동산, 그리고 마전리 지구조단위 등으로 구분한 바가 있다(e.g., Kang *et al.*, 1993, 2012b; Kang, 2001)(그림 1). 이들 중에 계명산층을 포함하는 계명산 지구조단위와 문주리층과 운교리층의 일부를 포함하는 지등산 지구조단위에는 열곡작용과 관련된 화산 및 심성 산성암류가, 황강리 지구조단위에는 황강리층의 변성역질암과 이와 교호하는 화산산성암류가, 그리고 옥천변성대의 남동부에 위치하는 합금리 지구조단위에는 화산 및 심성 염기성암류가 각각 우세하게 산출된다.

연구지역인 충주-괴산지역은 옥천변성대 북서부에 위치한다(그림 1). 주요 지층으로는 구조적 상부로부터 계명산층, 향산리돌로마이트층, 대향산규암층, 문주리층, 운교리층, 황강리층 등이 분포하고, 이를 관입하는 중생대 화성암류로는 조립질반상화강암, 흑운모화강암, 각섬석화강암, 화강반암, 규장암,

염기성암맥, 산성암류 등이 분포한다(Kim and Lee, 1965; Lee and Kim, 1972). 충주도폭(Kim and Lee, 1965)에 따르면 계명산층은 각섬암과 백색~회색 돌로마이트질석회암을 협재하는 흑운모-석영편암, 각섬석-흑운모편마암, 적철석-자철석-석영편암, 견운모-석영편암, 백운모-석영편암, 석영-흑운모편마암, 대상석영-흑운모편마암 등의 준편마암류(이하, 흑운모-석영 준편마암류)로 주로 구성되어 있고, 문주리층은 담녹회색의 녹니석편암으로 주로 구성되어 있다. 괴산도폭(Lee and Kim, 1972)의 기재에 의하면 운교리층은 녹니석편암, 점문상사질암, 각섬석편암 등을 협재하는 사질천매암으로 주로 구성되어 있고, 황강리층은 흑색 함역천매암질암과 회색 함역석회질천매암질암으로 주로 구성되어 있다.

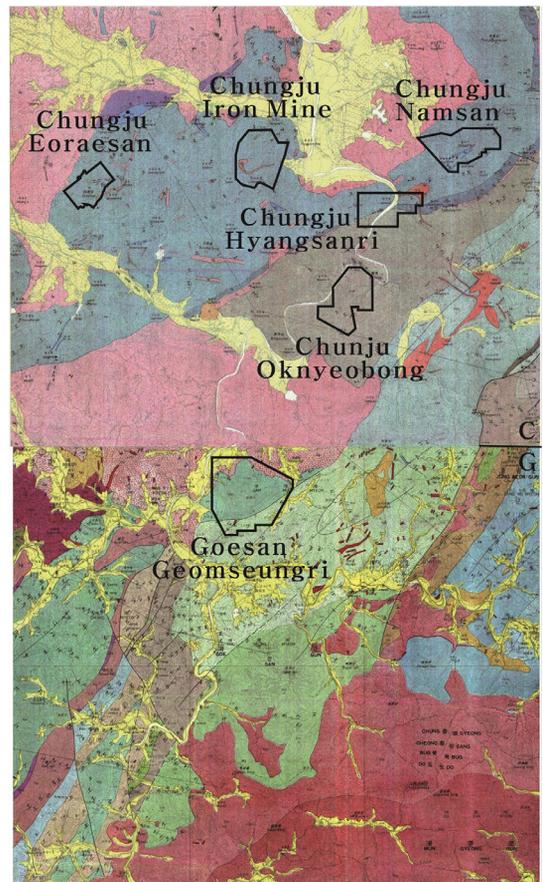


Fig. 2. The Locality of study area in the Chungju (Kim and Lee, 1965) (upper C) and Goesan (Lee and Kim, 1972) (lower G) sheets (1:50,000). See the Chungju and Goesan sheets for detailed explanation.

그리고 지금까지 이들 지층의 구성암류는 다음과 같이 연구자들에 따라 다르다: 함자철석과 적철석 규암, 편마암(Reedman *et al.*, 1973), 함철규암, 사질편마암편암천매암, 변질화산암, 사질천매암질암, 변성 화산암, 고기각섬암(Na *et al.*, 1982), 흑운모-각섬석 편암, 함자철석 호상규암(Oh, 1989), 산성과 중성의 화산암류, 화산퇴적암 복합체[역질암과 석회암 외래암괴(olistolith), 앰피볼라이트, 석회질 슬레이트가 공존하는 화산쇄설암류](Cluzel *et al.*, 1990), 변성역질암, 변성산성암(섬장암질과 몬조나이트질 심성암과 조면암질과 유문암질 화산암), 변성염기성암(반려암질 심성암과 현무암질과 휘록암질 화산암), 변성이질암, 변성사질암(Kang, 1994b; Kang and Ryoo, 1997), 변성화산암(석영편암, 석영-운모편암, 석영-장석편암, 석영조면암질 내지 유문암질 화산암), 규암, 각섬암, 결정질석회암, 알칼리화강암류(석영섬장암~알칼리장석화강암), 페그마타이트(Park and Kim, 1995, 1998; Kim *et al.*, 1998) 등으로 구성된 계명산층, 그리고 염기성

과 중성 화산암류, 변성역질암, 산성 화산퇴적암 복합체(장석질 편암)(Cluzel *et al.*, 1990), 변성산성암, 변성 염기성암(Kang, 1994a, 1994b), 이질편암, 각섬석편암, 산성화산암 기원의 백운모-석영 편암, 사질편암, 석회질규산염암(Min *et al.*, 1995) 등으로 구성된 문주리층. 또한 이들 지층의 구성암류의 분포 및 산상적 특징에 대한 정보는 지금까지 거의 제공된 바가 없다(cf. Kang, 1994a, 1994b; Kang and Ryoo 1997). 이에 이러한 연구결과를 바탕으로 옥천열곡분지의 형성과 진화과정, 옥천누층군의 층서적 상하관계, 옥천변성대의 지구조 발달과정에 대한 실체를 파악하고 논의하기에는 많은 어려움이 있다. 따라서 이를 위해서는 이들 주요 지층이 분포하고 이들 지층 사이의 지질학적인 관계를 조사할 수 있는 중심지역을 연구대상 지역으로 선정하여, 이들 주요 지층에 대한 정밀한 야외지질조사를 통하여 이들 지역의 지질 및 구성암류를 파악하고 그 구성암류의 분포 및 산상적 특징을 파악하는 기초적이고 필수적인 연구가 수행

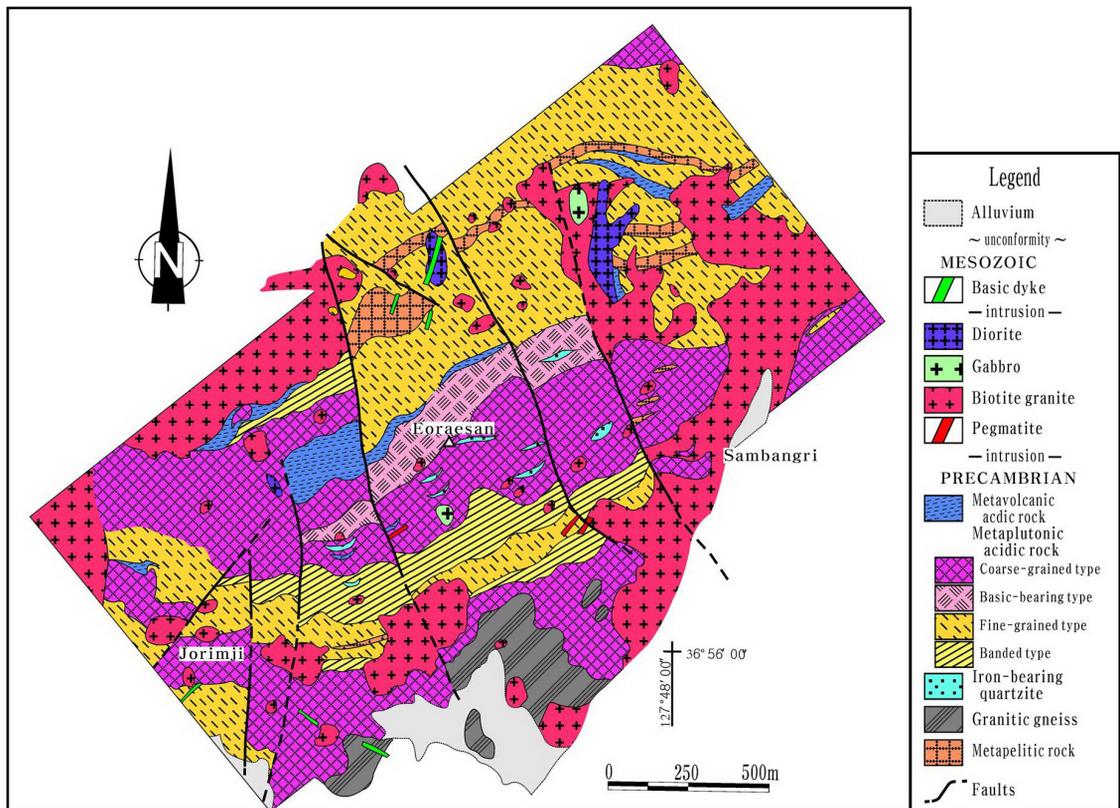


Fig. 3. Geological map of the Eoraesan area, Chungju.

될 필요가 있다.

3. 지 질

3.1 충주 아래산지역

계명산 지구조단위에 위치하고, 충주도폭의 중서부 일부 영역을 점하고 있으며, 충주도폭에 따르면 주로 흑운모-석영 준편마암류로 구성된 시대미상의 계명산층과 이를 관입하는 소규모 암맥상의 중생대 각섬석화강암이 분포한다(그림 1, 2).

그러나 본 연구결과 계명산층의 주요 구성암상은 변성이질암, 화강암질편마암, 함철규암, 변성심성산성암, 변성화산산성암 등으로 구분되고, 중생대 화성암류는 페그마타이트, 흑운모화강암, 반려암, 섬록암, 염기성암맥 등으로 구분된다(그림 3). 계명산층 주요 구성암상에 발달하는 광역엽리는 동북동 주향에 북쪽으로 중각 내지 고각으로 경사하는 우세한 방향성을 보이거나 전체적으로 분산되어 있고, 이러한

우세한 방향성은 계명산층 주요 구성암상의 대상 분포와 거의 일치한다(그림 3). 광역엽리면 상에서 측정된 신장선구조(이하 광역선구조)는 북동 선주향에 중각으로 침강하는 우세한 방향성을 보이며, 광역엽리의 사교 방향으로 발달한다. 중생대 흑운모화강암은 충주도폭과 달리 아래산지역의 전역에 광범위하게 분포하며 계명산층의 주요 구성암상을 접촉 변성시켰다. 주요 단층으로는 북북서 방향의 단층들이 우세하게 발달하고 그 외 서북서, 남-북, 북동 방향의 단층들이 발달하며, 이들 단층들은 아래산지역 주요 구성암류의 연장성을 절단한다(그림 3).

3.2 충주 철광산지역

계명산 지구조단위에 위치하고, 충주도폭의 중앙 북부 일부 영역을 점하고 있으며, 아래산지역의 구조적 하부에 위치한다(그림 1, 2). 충주도폭에 따르면 주로 흑운모-석영 준편마암류로 구성된 시대미상의 계명산층과 이를 관입하는 중생대 각섬석화강암이

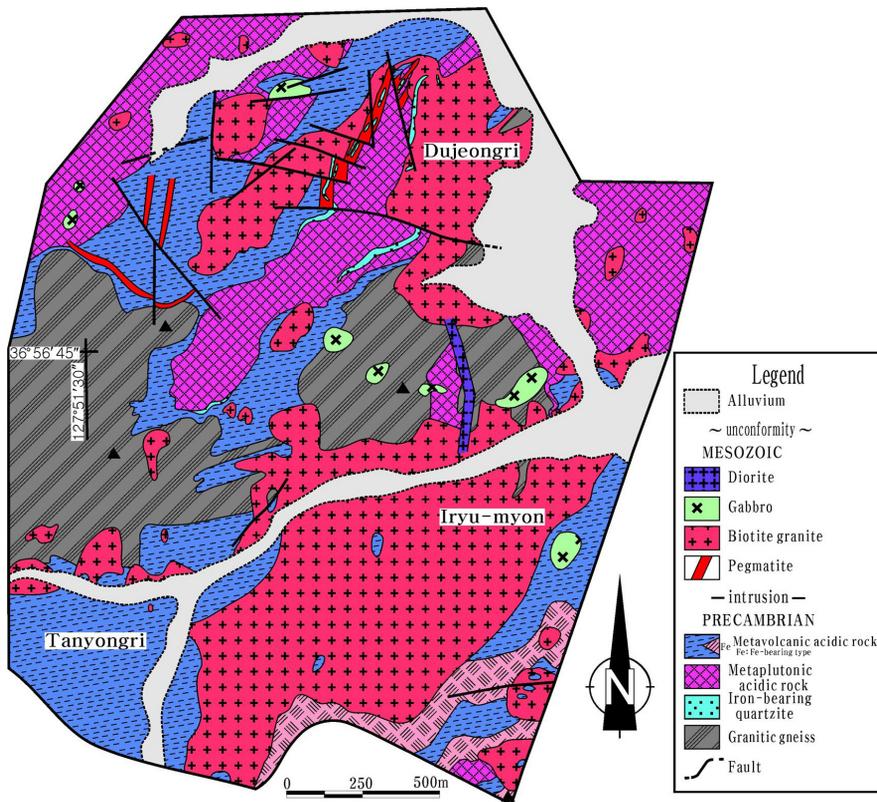


Fig. 4. Geological map of the iron mine area, Chungju.

소규모 암맥상으로 분포하고, Park and Kim (1995)에 따르면 석영(-운모)편암, 석영-장석편암, 함철규암과 이들을 관입하는 소규모 암주 내지 암맥상의 알칼리화강암과 페그마타이트가 분포한다.

그러나 본 연구결과 충주 철광산지역 계명산층의 주요 구성암상은 기존 연구결과(Kim and Lee, 1965; Park and Kim, 1995)와 달리 화강암질편마암, 함철규암, 변성화산산성암, 변성심성산성암 등으로 세분되고, 중생대 화성암류는 페그마타이트, 흑운모화강

암, 반려암, 섬록암 등으로 세분되며, 전술된 어래산 지역과 유사한 구성암류로 되어 있다(그림 3, 4). 광역엽리는 동북동 주향에 북쪽과 남쪽으로 고각 경사하는 우세한 방향성과 남-북 내지 동-서 주향에 중각 내지 고각 경사하는 분산된 방향성을 보이고, 광역선구조는 북쪽으로 중각 침강하며 광역엽리면의 주향과 사교하는 방향성을 보인다. 주요 단층으로는 서북서 내지 동북동 방향의 단층과 남-북 그리고 북서 방향의 고각 단층들이 인지되고, 이들 단층은 계

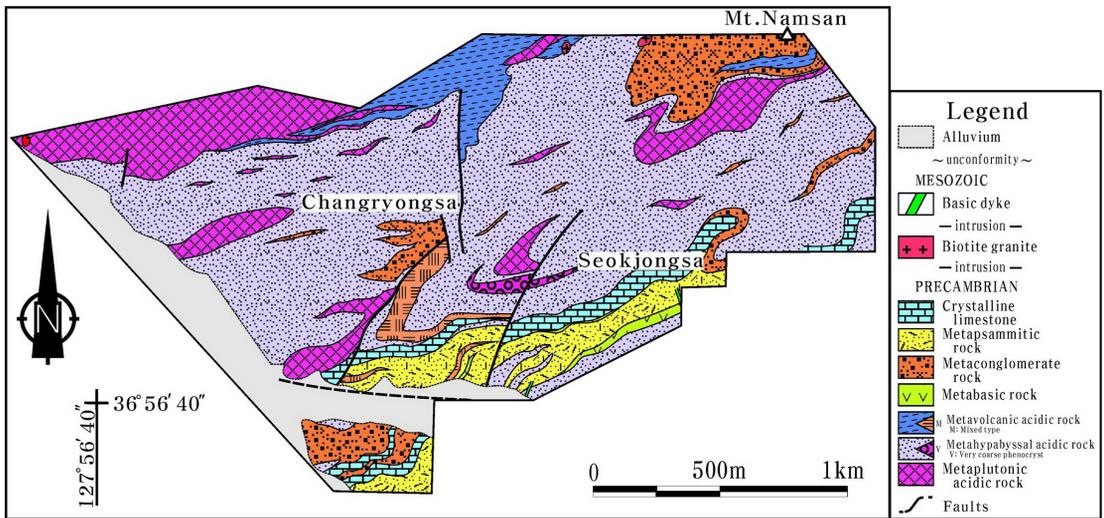


Fig. 5. Geological map of the Namsan area, Chungju.

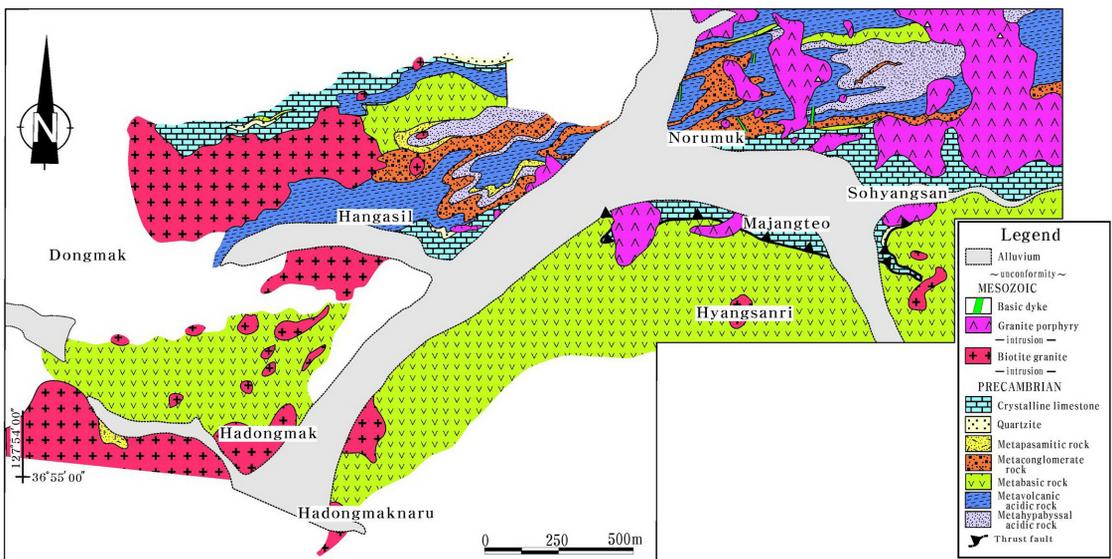


Fig. 6. Geological map of the Hyangsanri area, Chungju.

명산층과 화성암류의 주요 구성암류의 연장성을 절단한다(그림 4).

3.3 충주 남산지역

계명산 지구조단위에 위치하고, 충주도폭의 중동부 일부 영역을 점하고 있으며, 충주 칠광산지역의 구조적 하부에 위치한다(그림 1, 2). 충주도폭에 따르면 남산지역에는 주로 백색~회색 돌로마이트질석회암을 협재하는 흑운모-석영 준편마암류로 구성된 시대미상의 계명산층과 이를 관입하는 중생대 충주 화강암이 분포한다(그림 2).

그러나 본 연구결과 남산지역의 계명산층은 변성 심성산성암, 변성반심성산성암, 변성화산산성암, 변성염기성암, 변성역질암, 변성사질암, 결정질 돌로마이트질석회암 등 매우 다양한 암상으로 구성되어 있고, 이들 구성암류는 주로 동북동 방향의 대상 분

포를 보이며 중첩된 다변형작용에 의해 다소 복잡한 암상 분포를 보인다(그림 5). 광역엽리는 동북동 주향에 북쪽으로 중각 내지 고각 경사하는 우세 방향성을 보이며 분산되어 있고, 광역선구조는 서북서 방향으로 중각 침강하는 우세한 방향을 보인다. 이를 관입하는 중생대 화성암류는 흑운모화강암과 염기성암맥 등이 있고, 주요 단층으로는 남-북, 북동, 서북서 방향의 단층들이 인지되며, 계명산층의 주요 구성암류는 이들 단층에 의해 그 연장성이 절단된다(그림 5).

3.4 충주 향산리지역

계명산과 지등산 지구조단위들의 경계부에 위치하고, 충주도폭의 중동부 일부 영역을 점하고 있으며, 남산지역의 구조적 하부에 위치한다(그림 1, 2). 충주도폭에 따르면 구조적 상부로부터 시대미상의

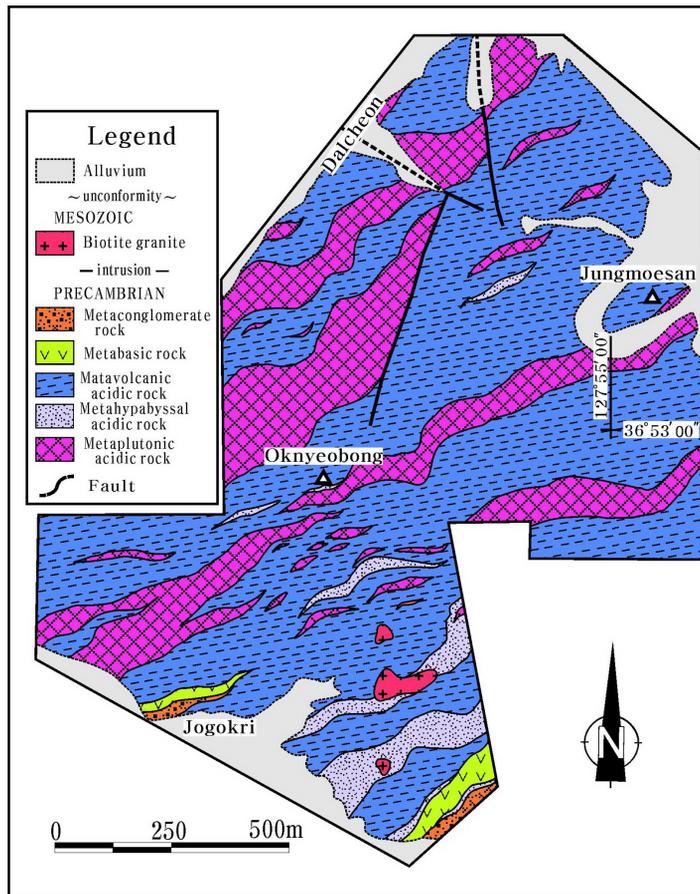


Fig. 7. Geological map of the Oknyeobong area, Chungju.

계명산층, 향산리 돌로마이트질석회암, 대향산규암, 문주리층 등이 분포하고, 이들 지층은 백악기 화강 반암, 염기성암맥 등에 의해 관입된다.

그러나 본 연구결과 계명산층의 구성암류는 변성 반심성산성암, 변성화산산성암, 변성염기성암, 변성 역질암, 변성사질암, 규암, 결정질 돌로마이트질석회암 등으로 구분된다(그림 6). 또한 향산리 돌로마이트질석회암은 기존 분포지 뿐만 아니라 한가실 북부 계명산층 내에서도 연장성 있게 산출되고, 대향산규암은 향산리 돌로마이트질석회암의 구조적 하부 뿐만 아니라 상부 또는 내부에서도 역시 반복되어 산출되고, 문주리층은 주로 변성염기성암과 소량의 변성사질암으로 구성되어 있다(그림 6). 향산리 지역의 이러한 구성암류 및 그 분포는 충주도폭과 크게 다르며, 전술된 남산지역 계명산층의 구성암류 및 그 분포와 매우 유사하다(그림 5, 6). 광역엽리는 동북동 주향에 북쪽으로 고각 경사하는 우세한 방향성을 보이나 중첩된 다변형작용에 의해 매우 분산되

어 있고, 광역선구조는 북서 선주향으로 중각 침강하는 집중된 방향성을 보이며 다소 분산되어 있다.

중생대 화성암류는 충주도폭과 달리 흑운모화강암, 화강반암, 염기성암맥 등으로 구분되며, 흑운모 화강암과 화강반암은 각각 향산리지역의 서부와 동부에서 다양한 규모로 광범위하게 산포상으로 산출된다(그림 6). 주요 단층으로는 Kang *et al.* (2012b)의 계명산과 지등산 지구조단위들의 경계에 해당하는 동-서 내지 동북동 방향의 충상단층이 문주리층의 변성염기성암의 북부 경계를 따라 발달하고, 이러한 충상단층에 의해 문주리층의 변성염기성암과 접하고 있는 결정질 돌로마이트질석회암과 규암의 연속성이 단절된다(그림 6).

3.5 충주 옥녀봉지역

지등산 지구조단위에 위치하고, 충주도폭의 중남부 일부 영역을 점하고 있으며, 향산리지역의 구조적 하부에 위치한다(그림 1, 2).

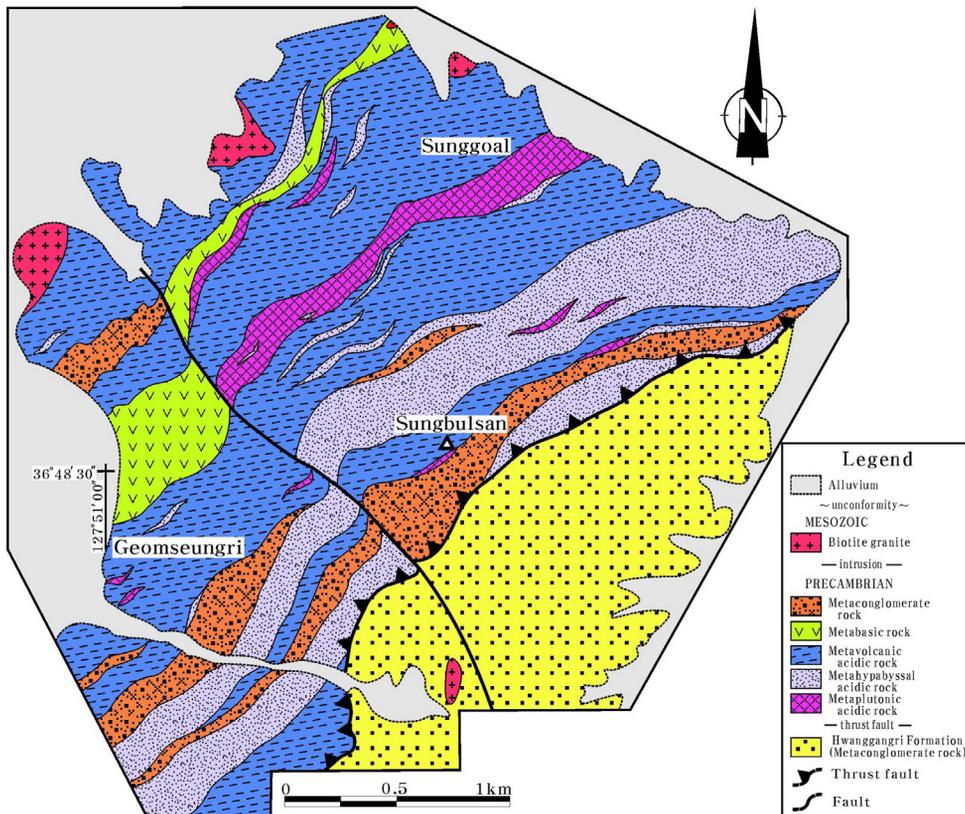


Fig. 8. Geological map of the Geomseungri area, Goesan.

옥녀봉지역에 분포하는 문주리층의 주요 구성암류는 기존 연구결과(Kim and Lee, 1965)와 달리 변성심성산성암, 변성반심성산성암, 변성화산산성암, 변성염기성암, 변성역질암 등으로 야외에서 구분된다(그림 7). 광역엽리는 (동)북동 주향에 북쪽으로 중각 내지 고각 경사하는 집중된 방향성을 보이고, 이러한 방향성은 상기된 문주리층 구성암류의 분포 방향성과 일치한다(그림 7). 광역선구조는 북쪽 내지 북북서 방향으로 중각 침강하는 집중된 방향성을 보인다. 주요 단층으로는 북북서, 북북동, 서북서 방향의 단층들이 인지되고, 문주리층의 주요 구성암류는 이들 단층에 의해 그 연장성이 절단된다(그림 7).

3.6 괴산 검승리지역

지등산과 황강리 지구조단위들의 경계부에 위치하고, 괴산도폭의 중북부 일부 영역을 점하고 있으며, 옥녀봉지역의 구조적 하부에 위치한다(그림 1, 2). 괴산도폭에 따르면 검승리지역은 단층접촉을 보이는 캄브리아기 운교리층과 후기 오르도비스기 황강리층 그리고 이들을 관입하는 주라기 조립질반상 화강암과 백악기 산성암맥류가 분포한다.

그러나 본 연구결과 황강리층은 괴산도폭과 같이 흑색 함염천매암질암과 회색 함역석회질천매암질암의 변성역질암으로 구성되어 있는 반면에 운교리층은 괴산도폭과 달리 변성심성산성암, 변성반심성

산성암, 변성화산산성암, 변성염기성암, 변성역질암 등으로 나타나고, 운교리층의 이러한 구성암류 및 그 분포는 전술된 옥녀봉지역 문주리층과 거의 일치한다(그림 7, 8). 광역엽리는 (동)북동 주향에 북쪽으로 고각 경사하는 우세한 방향성과 남-북 내지 동-서 주향에 중각 내지 고각 경사하는 분산된 방향성을 보이고, 이러한 우세 방향성은 역시 운교리층 구성암류의 대상 분포 방향과 일치한다(그림 8). 광역선구조는 북동 선주향으로 중각 내지 고각 침강하며, 광역엽리의 사교방향으로 발달한다. 주요 단층으로는 지등산과 황강리 지구조단위의 경계에 해당하는 동북동 방향의 충상단층과 이를 절단하는 북서 방향의 고각 단층이 인지된다(그림 8). 충상단층은 황강리층의 북부 경계를 따라 발달하고, 고각단층은 황강리층과 운교리층 주요 구성암류의 연장성을 절단시킨다.

4. 구성암류

계명산층, 향산리돌로마이트층, 대항산규암층, 문주리층, 운교리층, 황강리층 등 옥천변성대 북서부의 주요 지층들이 분포하는 충주 어래산, 철광산, 남산, 향산리, 옥녀봉 지역들과 괴산 검승리지역에서 암상단위 구분에 의한 상세한 야외지질조사를 실시한 결과, 기존 연구결과(Kim and Lee, 1965; Lee and

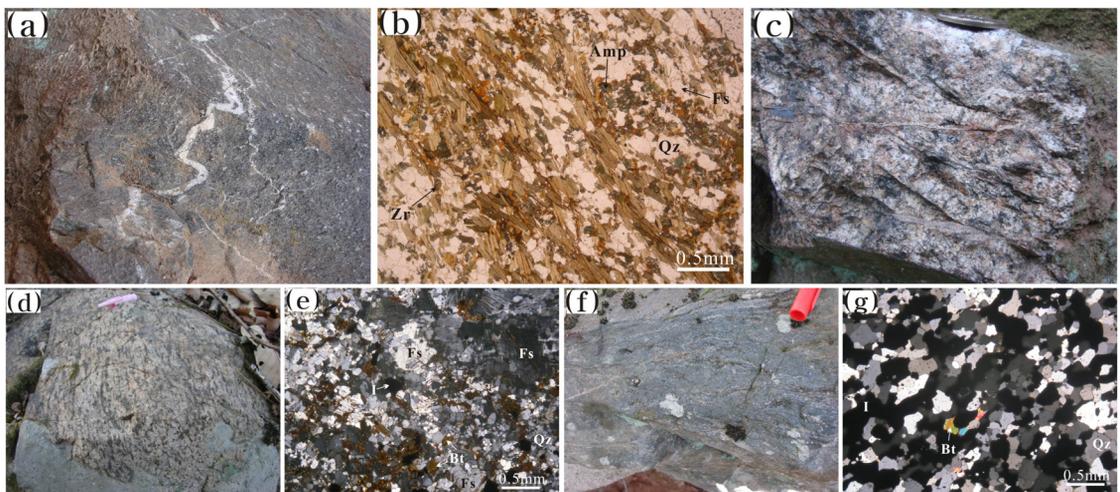


Fig. 9. Outcrop photographs and thin-section photomicrographs (b: open nicol, e, g: crossed nicols) of (a, b) metapelite rock, (c-e) granitic gneiss (c: massive type, d, e: foliation type) and (f, g) iron-bearing quartzite in the study areas. Amp: amphibole, Bt: biotite, Fs: feldspar, I: iron-oxidizing mineral, Qz: quartz, Zr: zircon.

Kim, 1972)와 달리 계명산층, 문주리층, 운교리층은 상호 매우 유사한 암석으로 구성되어 있고, 옥천변성대 북서부의 주요 지층들의 구성암류는 변성이질암, 화강암질편마암, 합철규암, 변성심성산성암, 변성반심성산성암, 변성화산산성암, 변성염기성암, 변성역질암, 변성사질암, 규암, 결정질 돌로마이트질 석회암 등의 퇴적기원과 화성기원의 변성암류로 구분되며, 이들을 관입하는 중생대 화성암류는 페그마타이트, 흑운모화강암, 반려암, 섬록암, 화강반암, 염기성암맥 등으로 구분되었다. 이들 주요 구성암류에 대한 산상, 조직, 구성광물에 대한 지금까지의 연구 결과를 기재하면 다음과 같다.

4.1 변성암류

4.1.1 변성이질암과 화강암질편마암

변성이질암: 세립형 변성심성산성암에 협재되어 아래산지역의 북부에 소규모 산출된다(그림 5). 주로 흑운모, 석영, 장석과 소량의 각섬석, 저어콘 등으로 구성되어 있으며, 일반적으로 다른 암석들에 비해 흑운모 함량이 많고 엽리가 우세하게 발달한다(그림 9a, 9b).

화강암질편마암: 아래산지역의 남부에 소규모로 산출되고, 철광산지역의 중앙부와 서부에 넓게 분포하며, 충주도폭에서 백악기 각섬석화강암으로 기재된 암상의 분포와 일부 일치한다(그림 2, 3, 5). 편마구조의 발달유무에 따라 괴상형(그림 9c)과 엽상형(그림 9d)으로 구분되고, 엽상형 화강암질편마암의 대부분은 장석 풍부대와 흑운모 및 자철석 풍부대의 호층에 의해 편마구조를 형성한다. 경하에서 주로 거정의 장석, 석영, 흑운모, 철산화광물 등이 관찰된다(그림 9e).

최근 Cheong *et al.* (2015)은 아래산지역에서 엽상형 화강암질편마암(편마상 섬장암)으로부터 추출된 저어콘 입자들의 중심부와 주변부로부터 각각 858.2 ± 6.3 Ma와 ca. 190 Ma의 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 연대를 구하고 이들을 각각 전기 신원생대 화성활동과 전기 유라기 화강암의 접촉변성작용 시기로 해석한 바가 있다.

4.1.2 합철규암

화강암질편마암과 같이 옥천변성대 북서부의 구조적 상부 영역에 해당하는 아래산과 철광산 지역들

에 주로 산출된다(그림 3, 4). 아래산지역에서는 주로 조립형 변성심성산성암에 협재되어 소규모 렌즈상으로 산출되고, 철광산지역에서는 북동 내지 동북동 방향의 대상 분포를 보이며 북부의 변성화산산성암과 변성심성산성암의 경계부 내지 변성심성산성암에 협재되어 소규모 산출되고, 부분적으로 중생대 페그마타이트, 흑운모화강암의 관입을 받아 이들 화성암류에 포획된 산출양상을 보인다. 주 구성광물은 철산화광물과 석영으로 되어 있고 소량의 흑운모가 관찰되며, 야외에서 해머로 타격 시 쇠소리가 나며 시료채취가 어려울 정도로 매우 강하다(그림 9f, 9g).

4.1.3 변성심성산성암

향산리지역을 제외하고는 대부분의 지역에 산출된다. 변성심성산성암은 아래산지역의 전역에 산출되고, 야외에서 구성광물 및 조직의 차이에 의해 호상형, 세립형, 합염기성형, 조립형 등으로 구분된다. 호상형은 동북동 방향의 대상 분포를 보이며, 아래산지역의 남부에 주로 그리고 북부에 소규모로 분포한다(그림 3). 주로 장석과 석영으로 구성된 무색광물대와 주로 흑운모와 철산화광물로 구성된 유색광물대가 호층을 이루며, 구성광물의 입도 세립화와 함께 우세한 편마구조를 발달시킨다(그림 10a, 10b). 세립형은 주로 중생대 흑운모화강암의 주변부에 산출된다(그림 3). 풍화토는 흑운모화강암과 유사하므로 야외에서 주의를 요한다. 육안으로 장석과 석영은 포도송이와 같은 세립질 등립상 조직을 보이나, 경하에서는 세립화된 기질 바탕에 중립질 재결정 장석집합체로 구성된 거정의 장석풀(pool)이 관찰되기도 한다(그림 10c, 10d), 일반적으로 엽리의 발달이 미약하고, 드물게 신장된 철산화광물 집합체의 배열에 의한 엽리가 인지된다. 합염기성형은 아래산지역의 중앙부에서 동북동 방향으로 대상 분포를 보인다(그림 3). 거정의 핑크색 장석을 주 구성광물로 하고 각섬석 내지 흑운모 집합체를 포함한다(그림 10e, 10f). 엽리는 각섬석 내지 흑운모 집합체의 정향 배열에 의해 인지되고, 철광층을 거의 협재하지 않거나 드물게 협재한다. 부분적으로 세립~거정의 장석 반정을 포함하기도 하고, 유색광물의 집합체가 봉상구조로 나타나기도 한다. 반면에 세립형과 함께 변성심성산성암의 대부분을 차지하는 조립형(그림 3)은 일반적으로 조립질이고 거정의 핑크색 장석을

주 구성광물로 하며 소량의 유색광물을 포함하나, 철광층을 대부분 협재한다. 엽리는 철광층 내지 신장된 유색광물 집합체의 정향배열에 의해 인지되고(그림 10g, 10h), 엽리가 거의 발달하지 않는 괴상의 조립형 변성심성산성암도 가끔 관찰된다(그림 10i, 10j).

철광산지역의 변성심성산성암은 북부에서 (동)북

동 방향의 대상 분포를 보이고 변성화산산성암과 교호하며 산출되고(그림 4), 남산지역의 변성심성산성암은 북서부에서 비교적 넓게 분포하고, 중앙부에서는 변성반심성산성암에 협재되어 렌즈상으로 분산되어 산출된다(그림 5). 그리고 옥녀봉지역의 변성심성산성암은 역시 동북동 방향의 대상 분포를 보이고 변성화산산성암과 교호하며 비교적 넓게 분포한

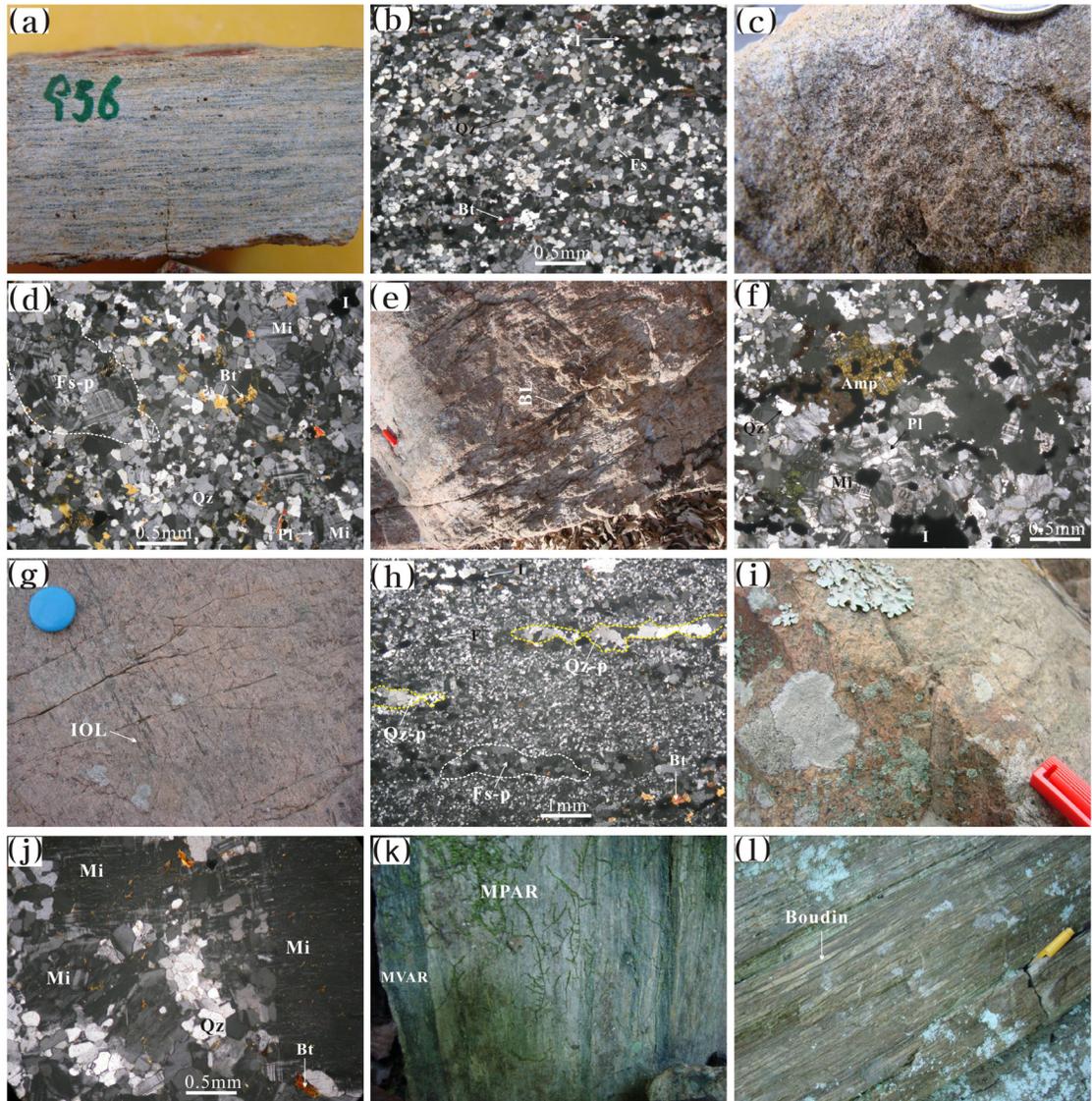


Fig. 10. Outcrop photographs and thin-section photomicrographs (crossed nicols) of metaplutonic acidic rock in the study areas. (a, b) Banded type. (c, d) Fine-grained type. (e, f) Basic-bearing type. (g-j) Coarse-grained type (g, h: foliation type, i, j: massive type). (k, l) Metaplutonic acidic rock (MPAR) alternating with metavolcanic acidic rock (MVAR). Amp: amphibole, BL: basic layer, Bt: biotite, F: fluorite, Fs: feldspar, I: iron-oxidizing mineral, IOL: iron ore layer, Mi: microcline, p: pool, Pl: plagioclase, Qz: quartz.

다(그림 7). 검승리지역의 변성심성산성암은 중앙 북부에서 역시 동북동 방향의 대상 분포를 보이고, 변성화산산성암과 교호하며 산출된다(그림 8). 그리고 아래산지역의 구분에 의하면 이들 지역의 변성심성산성암은 조립형에 속하고, 이들 지역에서의 변성심성산성암은 변성화산산성암을 협재하거나 교호하여 편마구조를 형성하기도 한다(그림 10k). 편마구조는 부딘작용을 받아 부딘구조를 형성하며 부딘들이 마치 신장된 역암과 같은 산상을 보여준다(그림 10l).

암형에 따라 다소 차이를 보이거나, 경하에서 변성심성산성암은 알칼리장석(주로 미사장석), 석영, 철산화광물, 흑운모(대부분 녹니석으로 변질), 백운모, 사장석, 각섬석, 갈립석, 저어콘, 녹염석, 형석, 인회석, 석류석, (사)유렴석[(clino)zoisite] 등으로 구성되어 있다. 광역엽리가 발달되지 않는 변성심성산성암은 주 구성광물인 장석, 석영, 철산화광물, 흑운모 등이 조립 내지 중립으로 원암의 조직이 인지된다(그림 10i, 10j). 그러나 광역엽리가 발달된 변성심성산성암은 이들 조립 내지 중립 광물이 압쇄암화과정에서 동력재결정작용을 받아 입도 세립화와 함께 신장된 집합체를 만들어 엽리를 형성하는 관계로 원암

의 조직을 거의 인지할 수 없다(그림 10a-10d).

Kang (1994b)과 Kang and Ryoo (1997)는 다소 핑크색의 암색을 띄며 조립질인 이들 변성심성산성암을 섬장암질암 내지 몬조나이트질암으로 기재한 바가 있다. 또한 Kang *et al.* (2012a)은 아래산지역 계명산층 내의 조립형 변성심성산성암으로부터 870 ± 66 Ma와 194 ± 18 Ma의 U-Pb 저어콘 연대를 얻고, 이들을 각각 옥천변성대에 전기 신원생대의 화성활동과 전기 주라기 화강암의 접촉변성작용 시기로 보고한 바가 있다.

4.1.4 변성반심성산성암

옥천변성대 북서부의 구조적 중부와 하부 영역에 위치한 충주 남산, 향산리, 옥너봉 지역들과 괴산 검승리지역에 산출된다. 남산지역의 변성반심성산성암은 중앙부에서 동북동 방향의 광범위한 대상 분포를 보인다(그림 5). 향산리지역은 중앙 북부에서 변성화산산성암과 변성역질암과 접촉하며, 열린 납작타원형 분포를 보인다(그림 6). 옥너봉과 검승리 지역들은 각각 남부와 중앙부에서 주로 변성화산산성암과 교호하며 역시 동북동 방향의 대상 분포를 보이고, 이들 지역의 북부에서는 주로 변성화산산성암

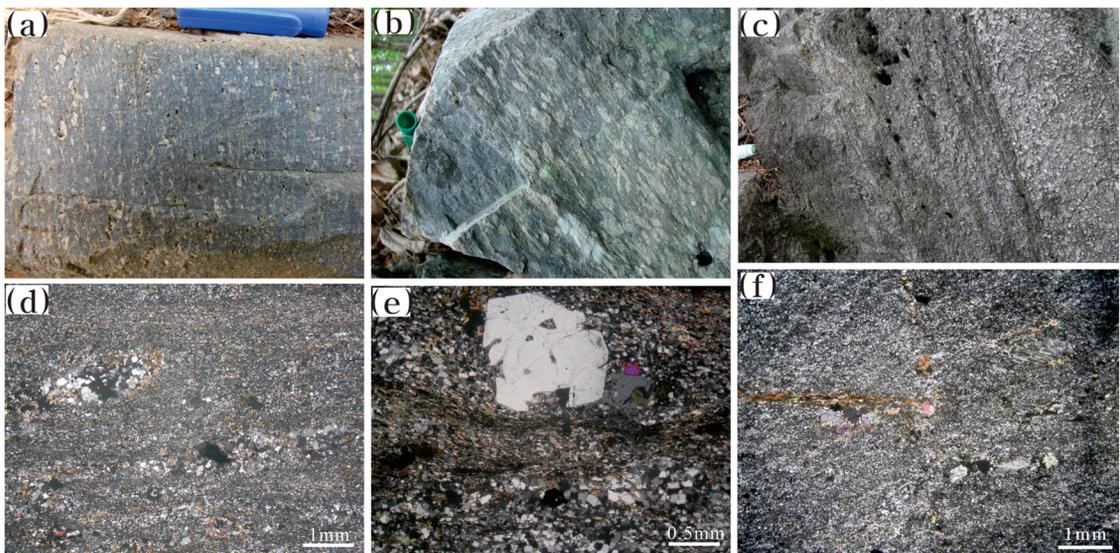


Fig. 11. Outcrop photographs and thin-section photomicrographs (crossed nicols) of metahypabyssal acidic rock in the study areas. (a) Coarse-grained phenocryst type. (b) Very coarse-grained phenocryst type. (c, d) Metahypabyssal acidic rock showing the development of distinct foliation with grain size reduction of constituent minerals. (e) Quartz phenocrysts that have embayment against the matrix due to magmatic corrosion. (f) Mylonitic microstructure. For detailed explanation see text.

내에 소규모 렌즈상으로 산출된다(그림 7, 8).

야외 산상으로는 세립 기질부에 주로 2~5 mm 전후의 핑크색 내지 백색의 조립 장식과 석영 반정을 함유하나(그림 11a), 10 mm 이상의 거정 장석을 반정으로 함유하는 극조립의 반상조직을 보이는 노두(그림 11b)도 종종 관찰된다. 엮리는 조립 내지 극조립 장식 반정의 입도 세립화와 함께 신장되어 우세하게 발달한다(그림 11c). 경하에서 반정은 주로 재결정된 세립 장식과 석영 집합체들로 되어 있고, 기질은 장식, 석영, 백운모, 철산화광물, 흑운모, 녹염석, 갈렙석, 전기석 등으로 인지되며(그림 11d), 용식형(corrosion type) 석영반정의 화산암 조직도 경하에서 종종 관찰되고(그림 11e), 압쇄암화작용을 받아 엮리가 발달되어 있는 경우 반정의 입도 세립화로 인한 기질화로 인해 반정의 존재를 인지하기가

쉽지 않다(그림 11f).

4.1.5 변성화산산성암

옥천변성대 북서부의 대부분 지역에 산출된다. 어래산지역에서는 중앙 북부에서 주로 동북동 방향으로 대상 분포를 보이며 소규모로 산출되고(그림 3), 철광산지역은 전역에서 (동)북동 방향의 대상 분포를 보이며 다른 여러 암상의 변성암류와 교호하며 산출한다(그림 4). 남산지역에서는 주로 북부에 소규모로 분포하고(그림 5), 향산리지역에서는 다른 여러 암상의 변성암류와 교호하며 동북동 방향으로 신장된 열린 납작 타원형 분포를 보이며 북부에 산출된다(그림 6). 옥녀봉과 검승리 지역들에서는 다른 여러 암상의 변성암류와 교호하며, 동북동 방향의 대상 분포를 보이며, 광역적으로 산출된다(그림 7, 8).

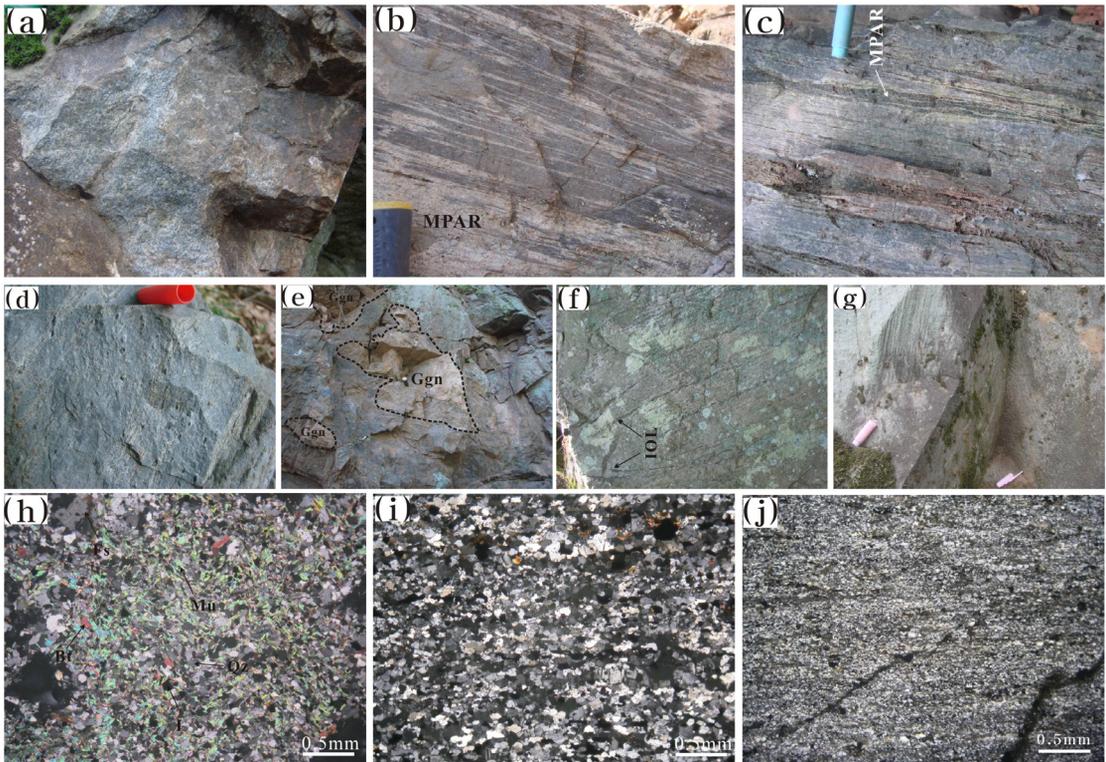


Fig. 12. Outcrop photographs and thin-section photomicrographs (crossed nicols) of metavolcanic acidic rock in the study areas. (a) Massive type showing uneven and irregular broken surface. (b) Alternating type with metaplutonic acidic rock (MPAR). (c) Alternating type with metabasic rock (MBR). (d) Type containing iron-oxidizing minerals as phenocrysts. (e) Type including granitic gneiss (Ggn) as xenolith. (f) Intercalating type with iron ore layers (IOL). (g) Mixed type with pelitic or psammitic compositions and (h) its thin-section photomicrograph. (i, j) Microstructures of less (i) and more (j) deformed metavolcanic rocks. Bt: biotite, Fs: feldspar, I: iron-oxidizing mineral, Mu: muscovite, Qz: quartz.

야외 산상적 특징으로는 주로 담회색 내지 암회색을 띠며 불평탄 깨진자국과 세립 내지 극세립의 괴상의 조직을 보이고(그림 12a), 핑크색 장석으로 주로 구성된 변성심성산성암과 교호하며 엽리를 발달시킨다(그림 12b). 변성염기성암과 부분적으로 교호하거나 협재하며(그림 12c), 부분적으로 철광화광물을 반정으로 하고(그림 12d), 화강암질편마암을 포획하는 변성화산산성암도 종종 관찰된다(그림 12e). 또한 철광산지역에서는 엽상 내지 대상의 철광층을 협재하는 변성화산산성암이 관찰되는데(그림 12f), 이러한 함철형 변성화산산성암은 철광산지역의 남부에서 변성화산산성암에 협재되거나 이와 교호하며 지질도 규모로 산출된다(그림 4). 그리고 남산지역에서는 이질 및 사질 성분과 혼합되어 있는 변성화산산성암이 관찰되는데(그림 12g), 이러한 혼합형 변성화산산성암은 남산지역의 남서부에 소규모로 산출되고(그림 5), 경하에서는 주로 장석, 석영, 백운모, 흑운모, 철산화광물 등이 관찰된다(그림 12h). Kang (1994b)과 Kang and Ryoo (1997)는 주로 담회색 내지 암회색을 띠며 세립질인 이들 변성화산산성암을 조면암질암으로 기재한 바가 있다.

경하에서 일반적인 변성화산산성암은 주 구성광물이 변성심성산성암과 유사하나 세립질 조직을 보인다(그림 12i). 그러나 광역엽리가 발달된 변성심성산성암 경우, 조립질 장석류들이 암쇄암화되는 동안에 동력재결정작용을 받아 세립질 장석류로 재결정되어 이러한 조직(그림 10b)은 변성화산산성암의 세립질 조직과 매우 유사하여 경하에서 쉽게 구분하기 어렵다(그림 12i). 또한 암쇄암화된 고변형의 변성화산산성암에서는 변성화산심성암의 조직 및 구성광물을 인지할 수 없을 정도로 구성광물의 입도 세립

화가 진행된 미구조도 빈번히 관찰된다(그림 12j).

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 얻고, 이들을 각각 옥천변성대에 중기 신원생대의 화성활동과 중기 주라기의 접촉변성작용 시기로 보고한 바가 있다. 그리고 이러한 중기 신원생대 화성활동은 옥녀봉지역과 그 부근 채석장에서 채집한 문주리층 내의 변성화산산성암에 대한 762 ± 7 Ma (Kim *et al.*, 2006)와 747 ± 7 Ma (Cho *et al.*, 2004)의 U-Pb 저어콘 연대에서 확인된 바가 있다.

4.1.6 변성염기성암

변성반심성산성암과 같이 충주 남산, 향산리, 옥녀봉 지역들과 괴산 검승리지역에 산출된다. 남산지역의 변성염기성암은 남부에서 변성사질암과 접촉하거나 이에 협재되어 소규모로 산출된다(그림 5). 향산리지역의 변성염기성암은 주로 계명산층과 문주리층에 산출되고, 결정질 돌로마이트질석회암 내에 렌즈상으로 협재되어 산출되기도 한다(그림 2, 6). 계명산층의 변성염기성암은 향산리지역의 북부에 분포하고, 다른 여러 암상의 변성암류와 접촉하며 단속적이나 다소 연속성을 유지하며 비교적 소규모로 산출된다. 반면에 문주리층의 변성염기성암은 향산리지역 남부에 광역적으로 분포한다(그림 6). 옥녀봉과 검승리 지역들은 각각 남동부와 북서부에서 역시 다양한 암상과 접촉을 보이며 동북동 방향으로 대상 분포한다(그림 7, 8). 변성염기성암은 주로 현무암과 휘록암 기원의 녹색암과 부분적으로 반려암 기원의 앰피블라이트로 인지되고, 광역엽리가



Fig. 13. Outcrop photographs and thin-section photomicrographs (crossed nicols) of metabasic rock (a: greenstone, b, c: amphibolite) in the study areas. Amp: amphibole, Bt: biotite, Ep: epidote, Fs: feldspar, Q: quartz.

발달한다(그림 13a, 13b). 그러나 암상의 연속성, 암상의 점이적인 관계 등으로 인해 야외에서 이들을 암상단위로 구분하여 지질도를 작성하기가 어려워 본 연구에서는 이들을 모두 변성염기성암으로 표기하였다. 경하에서 주 구성광물은 앵피보울, 흑운모, 녹염석, 석영, 장석, 철산화광물 등으로 인지된다(그림 13c).

4.1.7 변성역질암

옥천변성대의 북서부에 산출되는 변성역질암은 크게 두 종류로 구분된다. 하나는 황강리층의 변성역질암이고, 다른 하나는 계명산층, 문주리층, 운교리층에 산출되는 변성역질암이다.

전자는 주로 함역 천매암질암으로서 기질은 주로 이질 성분으로 되어 있고, 역은 주로 원형~아원형 석회암이며 부분적으로 사암, 점판암, 화강암, 석영립 등으로 구성되어 있다. 구성역의 분급은 매우 불량하며(그림 14a), 신장된 구성역과 함께 엽리의 발달이 우세하다(그림 14b). 황강리층의 변성역질암(이하 황강리형 변성역질암)은 운교리층의 구조적 하부에 해당하는 검승리지역의 남동부에 산출된다(그림 8)

후자는 주로 화산산성암의 기질부에 다양한 크기의 아원형~아각형의 화산(그림 14c) 및 심성(그림 14d) 산성암을 주 구성역으로 한다. 구성역의 분급은 역시 매우 불량하며, 신장된 구성역과 함께 우세한 편마구조를 보인다(그림 14e-14g). 경하에서 주

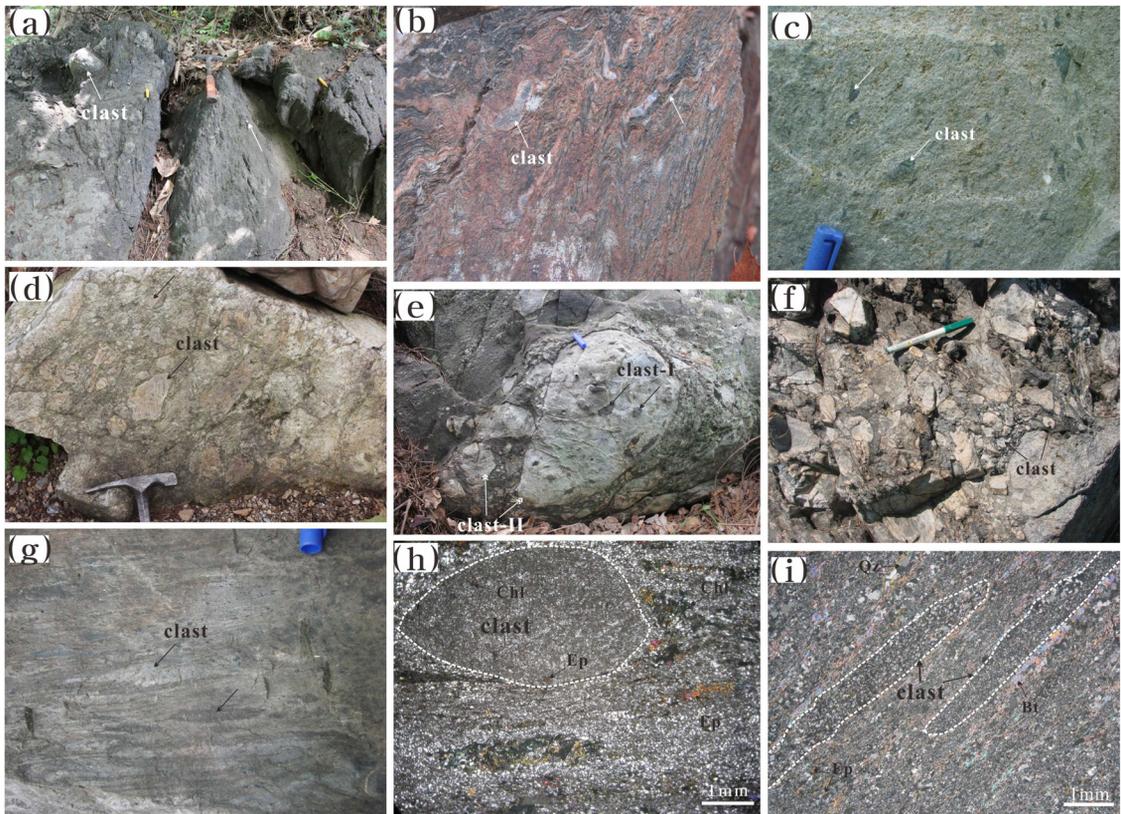


Fig. 14. (a, b) Outcrop photographs of metaconglomerate rocks of Hwanggangri Formation that consist mainly of rounded to subrounded clasts of carbonate rock in the pelitic matrix (a: less deformed type, b: more deformed type). (c-g) Outcrop photographs of metaconglomerate rocks of Gyemyeongsan, Munjuri, Wunkyori Formations that are composed mainly of subrounded to subangular clasts of acidic rock in the volcanic acidic matrix [c-f: less deformed type including the clasts of (c) volcanic acidic, (d) plutonic acidic rocks, (e) conglomerate rock (clast-II) (clast-I: older clast), and (f) showing clast-supported fabrics, g: more deformed type developing the distinct foliation with very stretched pebbles], and (h, i) their thin-section photomicrographs (crossed nicols) (h: less deformed type, i: more deformed type). Bt: biotite, Chl: chlorite, Ep: epidote, Qz: quartz.

구성역들은 장석과 석영 집합체, 철산화광물, 흑운모, 녹염석, 녹니석 등으로 구성된 산성암으로 확인되고, 이들 구성역의 구성광물과 조직은 기질부의 구성광물과 조직에 매우 유사하며, 이러한 미구조적 산출양상은 편마구조의 우세성과 관계없이 동일하다(그림 14h, 14i). 계명산층의 변성역질암은 남산과 향산리 지역들에서 산출된다. 남산지역의 변성역질암은 전역에 분산되어 분포한다(그림 5). 향산리지역의 변성역질암은 중앙 북부에서 동북동 방향의 신장된 열린 납작 타원형 분포를 보인다(그림 6). 문주리층과 운교리층의 변성역질암은 옥녀봉지역의 남부와 검승리지역의 중앙부와 북부에서 각각 동북동 방향의 대상 분포 내지 렌즈상으로 산출된다(그림 7, 8). 문주리층과 운교리층의 변성역질암(이하 문주리형 변성역질암)(그림 14d-14f)은 계명산층의 변성역질암(이하 계명산형 변성역질암)(그림 14c, 14g) 보다 일반적으로 구성역의 크기가 더 크고 기질보다 역의 함량이 더 많다. 또한 문주리형 변성역질암은 30 cm 크기 이상의 거력 내에 5 cm 내외의 산성암 역이 재포함되는 산출양상이 종종 관찰되나(e.g. 그림 14e), 변성역질암을 역으로 하는 이러한 산출양상은 계명산형 변성역질암에서는 관찰되지 않는다.

4.1.8 변성사질암과 규암

변성사질암: 구조적 중부 영역에 해당하는 남산지역의 남부와 향산리지역의 북부에서 다른 여러 암상의 변성암류와 접촉하면서 소규모로 산출된다(그림 5, 6). 변성산성암류의 성분과 부분적으로 혼합되어 있으나, 변성사질암 성분이 보다 우세한 암상을 변성사질암으로 분류하였다(그림 15a).

규암: 충주도폭의 대항산규암에 대비되는 석영사질암 기원의 유백색 규암은 향산리지역에서 결정질

돌로마이트석회암과 접촉부 내지 내부에 협재되어 소규모 산출된다(그림 6, 15b). Reedman *et al.* (1973)과 Choi and Kim (1981)은 대항산규암에서 정상위 사층리 및 점이층리를 보고한 바가 있다.

4.1.9 결정질 돌로마이트질석회암

충주도폭의 향산리 돌로마이트질석회암에 대비되고, 옥천변성대 북서부의 구조적 중부 영역에 해당하는 남산지역의 남부와 향산리지역의 북부 및 중앙부에서 동북동 방향의 대상 분포를 보이며 산출된다(그림 5, 6). 우백색 내지 회백색의 결정질 돌로마이트질석회암은 주로 방해석과 고회석으로 구성되어 있고, 규질층이 협재된 경우 다중침된 습곡구조가 잘 발달한다(그림 15c).

Lee *et al.* (1972)과 Lee, H.-Y. *et al.* (1989)은 향산리돌로마이트에서 각각 아케오싸이아타(Archaeocyatha) 화석과 코노돈트(conodont) 화석을 발견하고, 그 퇴적시기를 캄브리아기로 설정한 바가 있다. 그러나 최근 Ree *et al.* (2016)은 아케오싸이아타 화석 시료에 대한 암석학적이고 미조직적 분석을 통해 이를 변형 및 변성작용 산물로 해석하고 향산리층의 캄브리아기 퇴적시기에 대한 재검토를 제안한 바가 있다.

4.2 화성암류

4.2.1 페그마타이트와 흑운모화강암

페그마타이트: 핑크색 거정 내지 조립 장석을 주 구성광물로 하고, 변성심성산성암과 달리 페그마타이트질 내지 조립질 입상조직을 보이는 페그마타이트(그림 16b)는 엽리의 발달이 없고, 어래산지역의 중앙 남부와 철광산지역의 북부에서 변성암류를 주로 남-북 내지 북동 방향으로 고각 관입하거나 저각 층상으로 관입하며 소규모로 산출된다(그림 3, 4).



Fig. 15. Outcrop photographs of (a) metapsammitic rock, (b) quartzite, and © crystalline dolomitic limestone in the study areas.

흑운모화강암: 주로 순백색 장석, 석영, 흑운모 등으로 구성되어 있고, 조립질 입상 조직을 보이며 엽리의 발달이 없는 흑운모화강암(그림 16a)은 충주도폭과 달리 아래산과 철광산 지역들의 전역에 그리고 향산리지역의 서부에 다양한 규모로 광범위하게 산출된다(그림 3-8). 남산지역의 북부, 옥녀봉지역의 남부, 그리고 검승리지역의 북부와 남부에 소규모로 분산되어 산출되며 옥천변성대의 북서부에 산출되는 옥천변성암류를 접촉 변성시켰다.

4.2.2 반려암과 섬록암

반려암: 주로 거정 내지 조립의 각섬석과 장석으로 구성되어 있고, 변성염기성암의 앰피블라이트와 달리 조립질 입상조직을 보이며 엽리의 발달이 없는 반려암(그림 16c)은 아래산과 철광산 지역들에서 소규모 암주상으로 분산되어 산출된다(그림 3, 4).

섬록암: 반려암에 비해 각섬석이 세립이며 장석의 함량이 보다 많은 섬록암(그림 16d)은 아래산과 철광산 지역들의 동부에서 변성암류와 흑운모화강

암을 남-북 방향으로 고각 관입하는 암맥상으로 산출된다(그림 3, 4).

4.2.3 화강반암과 염기성암맥

화강반암: 세립 기질에 주로 중립 내지 조립의 사장석과 석영을 반정으로 하는 반상조직의 화강반암(그림 16e)은 충주도폭과 달리 향산리지역의 동부에서 다양한 규모로 광범위하게 산출되며 변성암류를 관입한다(그림 6).

염기성암맥: 북북서와 북북동의 관입 방향을 보이며 아래산, 남산, 향산리 지역 등에서 소규모로 산출된다(그림 3, 5, 6).

5. 고찰

5.1 원생대 화성활동

기존 연구자들의 연구결과(Kim and Lee, 1965; Lee and Kim, 1972; Reedman *et al.*, 1973; Na *et al.*, 1982; Oh, 1989; Cluzel *et al.*, 1990; Min *et al.*,

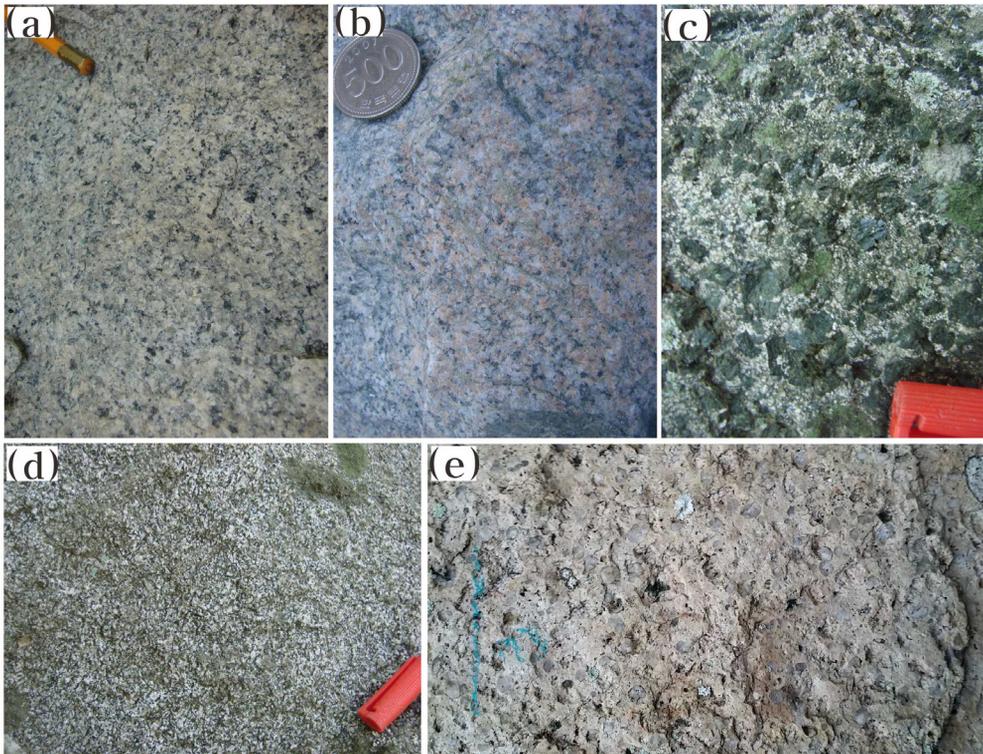


Fig. 16. Outcrop photographs of Mesozoic igneous rocks in the study areas. (a) Biotite granite. (b) Pegmatite. (c) Gabbro. (d) Diorite. (e) Granite porphyry.

1995; Park and Kim, 1995, 1998; Kim *et al.*, 1998)와 달리, 충주-괴산지역의 계명산층, 문주리층, 운교리층은 매우 다양하며 유사한 암상으로 되어 있고, 중첩된 다변형작용에 의해 매우 복잡한 분포를 보인다(그림 3, 5-8). 그러나 보다 면밀히 살펴보면 문주리층과 운교리층의 구성암류는 변성심성산성암, 변성반심성산성암, 변성화산산성암, 변성염기성암, 변성역질암 등으로 상호 동일한 화성기원의 변성암류로 주로 구성되어 있는 반면에 계명산층은 이들 변성화성암류와 함께 변성이질암, 화강암질편마암, 함철규암, 변성사질암, 규암, 결정질 돌로마이트질석회암 등과 같은 퇴적기원의 변성암류가 다수 산출되고, 충주도폭의 대향산규암과 향산리 돌로마이트질석회암에 상응하는 규암과 결정질 돌로마이트질석회암은 계명산층에서도 연장성 있게 반복하여 산출되는 반면에 문주리층과 운교리층에서는 관찰할 수 없다(그림 2, 5-8).

계명산층과 문주리층은 대륙판 내부의 열곡작용과 관련된 쌍봉형 화성활동의 산물인 변성염기성암과 변성산성암으로 주로 구성되어 있다(Cluzel *et al.*, 1990; Kang, 1994a, 1994b; Kang and Ryoo, 1997). 이러한 사실은 A1형(Eby, 1992) 마그마 특성을 보이는 옥녀봉지역 부근의 문주리층 내의 변성화산산성암(변성조면암과 변성유문암)과 변성염기성암(각섬암)(Lee *et al.*, 1998), 어래산과 철광산 지역들 주변의 계명산층 내의 희유금속광상(Park and Kim, 1995), 알칼리화강암(Kim *et al.*, 1998), 변성화산산성암(Park *et al.*, 2005), 충주지역 계명산층과 문주리층의 변성화산산성암(변성조면암)과 변성염기성암(아알칼리현무암-알칼리현무암)(Koh *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2006) 등에 대한 지구화학적 분석과 특성으로부터 각각 확인되었다. 그 시기는 문주리층의 변성화산산성암에서 측정된 755.8 ± 1.3 Ma (Lee *et al.*, 1998), 762 ± 7 Ma (Kim *et al.*, 2006), 747 ± 7 Ma (Cho *et al.*, 2004)의 U-Pb 저어콘 연대로부터 약 750 Ma로 보고된 바가 있다. 어래산지역 계명산층의 변성화산산성암($852 \sim 881$ Ma; Kim *et al.*, 2006), 조립형 변성심성산성암(섬장암질암 내지 몬조나이트질암)(Kang and Ryoo, 1997)(870 ± 66 Ma; Kang *et al.*, 2012a), 화강암질편마암(편마상 섬장암)(858.2 ± 6.3 Ma; Cheong *et al.*, 2015) 그리고 어래산지역 부근 금곡리 채석장에서 채취된 계명산층의 변성화산암(858.2 ± 2.8

Ma, 866.7 ± 3.5 Ma, 869.1 ± 3.1 Ma, 873.7 ± 2.9 Ma, 891.6 ± 2.9 Ma; Kim *et al.*, 2011) 등에서 측정된 U-Pb 저어콘 연대로부터 약 860~890 Ma로 보고된 바가 있다. 이러한 연구결과는 옥천변성대 북서부에서 대륙판 내부의 열곡작용과 이에 수반된 화성활동은 전기 신원생대와 중기 신원생대 등 적어도 2회 발생하였음을 의미한다(Kang *et al.*, 2012b). 그리고 전자는 변성화성암류와 함께 퇴적기원의 변성암류가 다수 산출되는 계명산층과 향산리돌로마이트층 그리고 대향산규암층을 포함하는 계명산 지구조단위를 중심으로 그리고 후자는 변성화성암류가 우세하게 산출되는 문주리층과 운교리층을 포함하는 지등산 지구조단위를 중심으로 발생하였으며, 이는 구조적 상부와 하부에 각각 위치하는 계명산과 지등산 지구조단위들 사이의 지질학적인 관계가 층상단층 관계에 있음을 의미한다(그림 2, 5-8).

5.2 고생대 화성활동

Park *et al.* (2011)은 향산리지역의 남서부 연장선상에 산출되는 대향산규암으로부터 분리된 쇠설성 저어콘의 SHRIMP U-Pb 연대측정에서 일치곡선상에 집중되는 두 지점의 젊은 연령 462.5 ± 3.9 Ma와 423.9 ± 5.6 Ma를 구하고, 이들 절대연령자료로부터 후기 실루리아기 이후의 대향산규암의 퇴적시기와 전기 고생대에 옥천변성대의 간헐적인 화성활동을 제안한 바가 있다. Cho *et al.* (2009, 2014)은 판내부 대륙열곡 지구조환경에서 형성된 옥천변성대 남동부 옥녀봉층의 조면암질암으로부터 445.0 ± 3.7 Ma와 452.5 ± 3.2 Ma의 U-Pb 저어콘 연대를 보고하고, 옥천변성대에 곤드와나대륙의 분열과 관련된 전기 고생대 화성활동을 주장하였다. 또한 Cho *et al.* (2013)은 옥천변성대 북서부에 위치하는 미동산 지구조단위(그림 1)의 규암으로부터 분리된 화성기원 쇠설성 저어콘의 447 ± 5 Ma의 최신 U-Pb 연대로부터 후기 오르도비스기 이후의 규암의 퇴적시기와 전기 고생대의 화성활동을 보고한 바가 있다. 그리고 최근 Cheong *et al.* (2015)은 어래산지역의 변성산성암 희토류 광체에서 관찰되는 갈륨석 광물들로부터 444.6 ± 8 Ma의 $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ 연대를 보고하고, 옥천변성대 북서부에 후기 오르도비스기의 화성활동 내지 변성작용에 수반된 희토류 광화작용을 제안하였다.

따라서 이와 같은 절대연대자료를 종합해 볼 때 전기 고생대 열곡작용은 옥천변성대의 북서부와 남동부에서 주로 발생하였다고 판단되나, 전기 고생대 열곡작용의 산물인 화산 및 심성염기성암류(Cluzel *et al.*, 1990; Kang *et al.*, 2012b)가 옥천변성대 남동부의 합금리 지구조단위에 다량 산출됨을 고려해 볼 때 전기 고생대 열곡작용은 옥천변성대의 남동부를 중심으로 우세하게 그리고 북서부를 중심으로 소규모로 발생하여 합금리 지구조단위에 다량의 화산 및 심성 염기성암류를 산출시켰다고 추정된다.

Park *et al.* (2005)은 철광산과 아래산 지역들 주변의 계명산층 내의 희유금속광상(330±20 Ma; Park and Kim, 1995), 알칼리화강암(338±30 Ma; Kim *et al.*, 1998)에서 산출된 Sm-Nd 등시선연대가 약 330 Ma 전후로 모두 일치한다는 점에서 이들 절대연령 자료에 대한 상당한 신뢰성을 표시하고, 계명산층 내에 알칼리화강암의 관입과 관련된 중기 고생대 화성활동을 제안한 바가 있다. 그리고 변성화산산성암과 희유금속광상과 달리 낮은 $\epsilon_{Nd}(0)$ 값을 갖는 알칼리화강암은 약 330 Ma에 소규모 열곡 형성과 국지적인 지열상승으로 인한 기존 A1형 화성암과 일부 오래된 지각물질의 재용용으로 형성되었고, 이와 동시에 열수작용으로 인한 화산산성암 내의 물질 재배치로 희유금속광상이 형성되는 이들의 생성가설을 제시한 바가 있다.

이미 언급된 바와 같이 옥천변성대 북서부에 산출되는 변성역질암은 계명산형, 문주리형, 그리고 황강리형 등 3종류로 구분된다. 이들은 대륙판 내부의 열곡작용에 수반된 경동운동의 산물인 플리쉬상 퇴적물로 알려져 있다(Cluzel *et al.*, 1990). 계명산형 변성역질암은 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(그림 5, 6). 한편 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(그림 7, 8), 계명산형과 달리 화산 및 심성 산성암 이외에 변성역질암을 주 구성역으로 하는 특징적인 산출양상을 보인다(그림 14e). 문주리형 변성역질암의 이러한 산출양상은 옥천변성대 북서부에서는 중기 신원생대 화성활동 이전에 적어도 또

한 번의 대륙판 내부의 열곡작용에 수반된 경동운동이 발생하였음을 의미한다. 이러한 해석은 옥천변성대 북서부에서 신원생대 동안에 대륙판 내부의 열곡작용과 이에 수반된 화성활동이 적어도 2회 발생하였다는 절대연령자료와도 일치한다.

계명산형과 문주리형과 달리 주로 이질 성분의 기질에 석회암을 주 구성역으로 하는 황강리형 변성역질암은 검승리지역에서 문주리형의 구조적 하부에 산출되고(그림 8), 옥천변성대에서 황강리형 변성역질암은 옥천변성대의 중앙부에 해당하는 황강리 지구조단위에 다량 산출된다(그림 1). Lee, J.-H. *et al.* (1989)은 황강리형 변성역질암의 석회암역으로부터 전기 오르도비스기 코노돈트 화석을 발견하였다. Suzuki *et al.* (2006)은 화강암질편마암역의 맨틀로부터 369±10 Ma의 CHIME 연대를 보고한 바가 있다. 그리고 Lim *et al.* (2005)은 옥천변성대 남서부 비봉~연무지역의 사암에서 화성기원의 쇄설성 저어콘으로부터 354±4 Ma, 374±5 Ma, 398±5 Ma의 최신 U-Pb 연대를 구하고, 이들 자료로부터 전기 석탄기 이후의 비봉층의 퇴적시기와 중기 고생대의 화성활동을 추정할 바가 있다. 또한 Kang *et al.* (2012b)은 이들 자료와 함께 화산산성암류와 교호하는 황강리형 변성역질암의 야외산상자료(Kang, 1994a, 1994b)로부터 황강리형 변성역질암을 중기 고생대 열곡작용의 산물로 해석한 바가 있다. 따라서 Park *et al.* (2005)의 연구자료와 함께 이들 연구자료를 종합해 볼 때, 중기 고생대 열곡작용은 옥천변성대의 중앙부를 중심으로 발생하여 황강리 지구조단위에 다량의 황강리형 변성역질암을 산출시켰고, 옥천변성대의 북서부에서는 소규모 열곡 형성과 함께 기존 A1형 화성암과 일부 오래된 지각물질의 재용용으로 알칼리화강암이 생성된 것으로 해석된다. 그리고 검승리지역에서 약 750 Ma의 변성화산산성암과 교호하는 문주리형 변성역질암과 약 370 Ma 이후에 퇴적된 황강리형 변성역질암이 각각 구조적 상부와 하부에 놓여 있는 접촉관계는 지등산과 황강리 지구조단위들 사이의 지질학적인 관계가 역시 층상단층 관계에 있음을 의미한다(그림 8).

5.3 중생대 쥬라기 화성활동

충주-괴산지역의 중생대 화성암류는 페그마타이트, 흑운모화강암, 반려암, 섬록암, 화강반암, 염기성

암맥 등으로 구분된다. 계명산층의 변성암류를 관입하는 페그마타이트는 철광산지역에서 수~수십 m의 폭으로 발달하나, 어래산지역에서는 수십 cm~수 m 폭으로 소규모 산출된다(Park and Kim, 1998; You *et al.*, 2012; Cheong *et al.*, 2015)(그림 3, 4). 그 관입 시기는 Park and Kim (1998)에 의해 약 330 Ma의 알칼리화강암과 동일할 것으로 토의된 바가 있으나, 최근 어래산지역 페그마타이트 모암인 희토류 광석의 저어콘 U-Pb 연대가 약 190 Ma로 측정되었고(You *et al.*, 2012), 철광산(187.1±2.3 Ma, 187.9±2.9 Ma)과 어래산(190.1±1.6 Ma) 지역들에 분포하는 중립질 내지 조립질 그리고 부분적으로 페그마타이트 화강암맥으로부터 약 187~190 Ma의 전기 주라기 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 저어콘 연대가 보고된 바가 있다(Cheong *et al.*, 2015). 그리고 Cheong *et al.* (2015)은 어래산과 철광산 지역들 계명산층 내의 변성화성암 희토류 광체로부터 관찰되는 갈럼석 광물들로부터 전기 주라기(183~199 Ma)의 $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ 연대, 화강암맥과 핑크색 흑운모화강암(194.4±4.5 Ma)의 저어콘 입자들로부터 전기 주라기(187~194Ma) $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 연대, 계명산층을 둘러싸며 광범위한 분포를 보이는 충주 화강암의 저어콘 입자들로부터 중기 주라기(약 175~176 Ma) $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 연대, 그리고 이러한 전기 주라기 화강암류와 중기 주라기 화강암류에서 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 이들의 Sm-Nd 동위원소 분석자료로부터 옥천변성대 북서부 영역에서 전기 신원생대의 화성활동과 그 산물을 근원 물질로 하는 전기 주라기의 화성활동과 희토류 광화작용을 보고한 바가 있다.

본 연구결과 계명산층의 변성암류를 관입하는 흑운모화강암은 충주도폭과 달리 어래산과 철광산 지역들의 전역에 광범위하게 분포하며, 계명산층의 주요 구성암상을 접촉 변성시켰다(그림 2-4). 이러한 흑운모화강암의 관입 및 접촉변성작용의 시기는 어래산지역 계명산층의 조립형 변성심성산성암[중심부: 870±66 Ma, 주변부: 194±18 Ma (Kang *et al.*, 2012a)]과 엽상형 화강암질편마암[편마상 섬장암, 중심부: 858.2±6.3 Ma, 주변부: 약 190 Ma (Cheong *et al.*, 2015)]의 저어콘 입자들의 주변부로부터 측정된 전기 주라기 연대로부터 알 수 있고, 이는 옥녀봉 지역과 그 부근에 분포하는 문주리층의 변성화산산

성암[중심부: 755.8±1.3 Ma, 주변부: 160±19 Ma (Lee *et al.*, 1998)]의 저어콘 입자들의 주변부로부터 측정된 중기 주라기 연대와 다르다. 그리고 최근까지 충주-괴산지역에서 측정된 암상별 방사능의 최대값은 흑운모화강암이 광범위하게 분포하는 어래산과 철광산 지역들의 변성 심성 및 화산 산성암에서 월등히 높게 나타나고, 비록 흑운모화강암이 광범위하게 산출되지만 향산리지역의 변성화산산성암에서는 낮게 나타난다(Koh *et al.*, 2015; Kang *et al.*, in preparation). 또한 어래산과 철광산 지역들의 변성심성산성암에 대한 미구조 연구에서 희토류 광물인 갈럼석은 광역엽리가 형성된 이후에 흑운모화강암의 관입과 관련된 열수변질작용으로 성장하였음을 알 수 있었다. 이는 충주-괴산지역의 희토류 광화작용은 어래산과 철광산 지역들에서 광범위하게 산출되는 전기 주라기 흑운모화강암의 관입과 밀접한 관련성이 있음을 의미하고(Koh *et al.*, 2015; Kang *et al.*, in preparation), 향산리지역에서 산출되는 흑운모화강암은 이와 다른 기원의 마그마로부터 생성된 것으로 고찰된다.

따라서 지금까지 언급된 기존 연구결과와 본 연구결과를 종합해 볼 때, 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 있는 것으로 판단된다. 또한 향산리지역에 광범위하게 분포하는 흑운모화강암을 포함하여 옥천변성대 북서부에 분포하는 흑운모화강암류에 대한 체계적인 지구연대학, 지구화학, 암석학, 미구조 연구를 통하여 이들을 전기와 중기 주라기 화강암류로 분류하고, 그 분포 및 산상과 함께 옥천변성대의 중생대 지구조 발달과정에 대한 보다 심층있는 연구가 요구된다.

그리고 옥천열곡분지의 형성 및 진화 과정에 수반된 화성활동과 관련하여 지금까지 고찰된 절대연령자료를 조사지점과 함께 시대별 요약하면 그림 17과 표 1과 같다.

6. 결론

옥천변성대 북서부에 위치하고, 옥천변성대의 주요 지층인 계명산층, 향산리돌로마이트층, 대향산규

암층, 문주리층, 운교리층, 황강리층 등이 분포하는 충주-괴산지역에서 암상단위 구분에 의한 상세한 지질도를 작성하여 옥천변성대 북서부의 지질 및 구성암류를 파악하고, 이를 바탕으로 절대연령자료와 지구화학적 자료를 종합하여 옥천열곡분지의 형성 및 진화과정에 수반된 화성활동사를 고찰한 결과는 다음과 같다.

주요 지층들의 구성암류는 기존 연구결과와 달리 변성이질암, 화강암질편마암, 함철규암, 변성심성산성암, 변성반심성산성암, 변성화산산성암, 변성염기성암, 변성역질암, 변성사질암, 규암, 그리고 결정질 돌로마이트질석회암 등으로 구분되며, 이들을 관입하는 중생대 화성암류는 페그마타이트, 흑운모화강암, 반려암, 섬록암, 화강반암, 그리고 염기성암맥 등

으로 구분된다. 계명산층은 주로 퇴적기원과 화성기원의 변성암류로 구성되어 있다. 반면에 문주리층과 운교리층의 구성암류는 동일하고, 주로 화성기원의 변성암류로 되어 있다.

옥천열곡분지에서 경동운동의 산물인 플리쉬상 퇴적물로 알려진 변성역질암은 기질과 구성역의 암상 그리고 구성역의 크기와 함량에 의해 3종류로 구분된다. 계명산형은 주로 화산산성암 기질에 화산 및 심성 산성암을 주 구성역으로 하고, 주로 계명산층에 산출된다. 문주리형은 주로 화산산성암 기질에 화산 및 심성 산성암과 역질암을 주 구성역으로 하고, 계명산형 보다 구성역의 크기가 더 크고 기질보다 역의 함량이 더 많으며, 주로 문주리층과 운교리층에서 산출된다. 반면에 황강리형은 주로 이질암

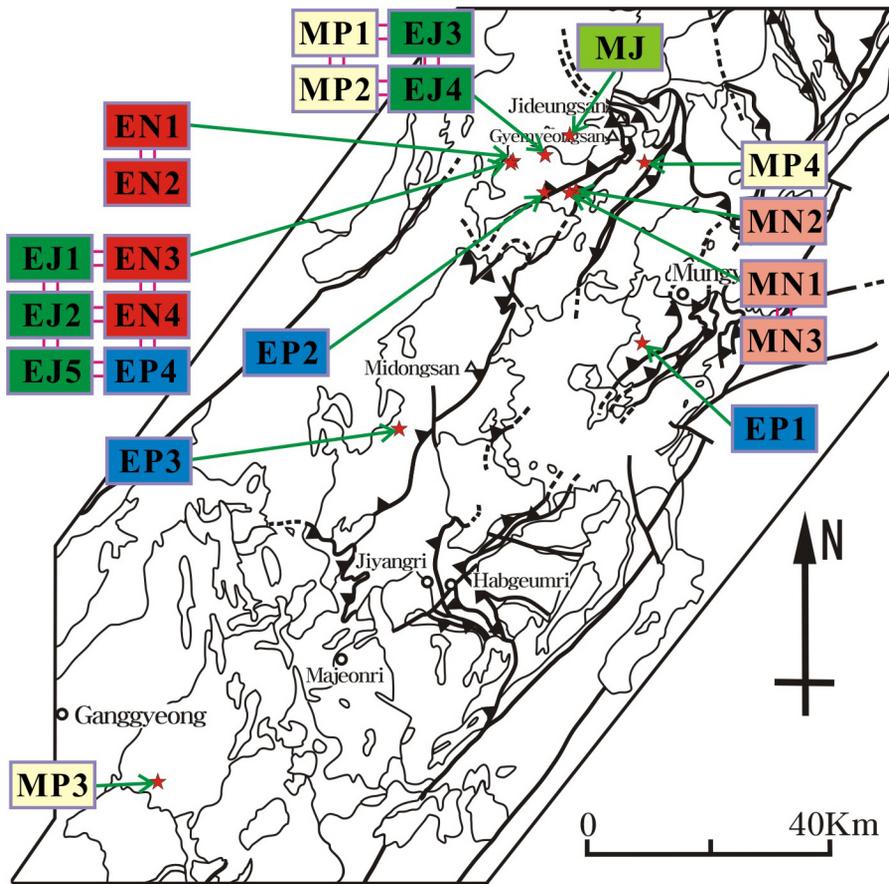


Fig. 17. Structural map illustrating the sample locations of reported ages on the igneous activities associated with the evolution and formation of The Ogcheon rift basin. EN: Early Neoproterozoic, MN: Middle Neoproterozoic, EP: Early Paleozoic, MP: Middle Paleozoic, EJ: Early Jurassic, MJ: Middle Jurassic. Numbers are sources of reference. Refer to table 1 for details.

Table 1. Summary of reported ages on the igneous activities associated with the evolution and formation of the Ogcheon rift basin. Refer to Fig. 17 for sample locations of reference.

Location	Rock type	Age (Ma)	Method	Reference
Early Neoproterozoic				
Gyemyeongsan Formation in the Gyemyeongsan unit				
· Near Eoraesan area (EN1)	Metavolcanic acidic rock	ca. 852~881	U-Pb zircon	Kim <i>et al.</i> (2006)
· Near Eoraesan area (EN2)	Metavolcanic acidic rock	ca. 860~890	U-Pb zircon	Kim <i>et al.</i> (2011)
· Eoraesan area (EN3)	Metaplutonic acidic rock	870±66, 194±18	U-Pb zircon	Kang <i>et al.</i> (2012a)
· Eoraesan area (EN4)	Granitic gneiss	858.2±6.3 (core), ca. 190 (rim)	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U zircon	Cheong <i>et al.</i> (2015)
Middle Neoproterozoic				
Munjuri Formation in the Jideungsan unit				
· Near Oknyeobong area (MN1)	Metavolcanic acidic rock	755.8±1.3, 160±19	U-Pb zircon	Lee <i>et al.</i> (1998)
· Near Oknyeobong area (MN2)	Metavolcanic acidic rock	747±7	U-Pb zircon	Cho <i>et al.</i> (2004)
· Near Oknyeobong area (MN3)	Metavolcanic acidic rock	762±7	U-Pb zircon	Kim <i>et al.</i> (2006)
Early Paleozoic				
Ognyeobong Formation in the Habgeumri unit (EP1)				
Daehyangsan quartzite in the Gyemyeongsan unit	Quartzite	445.0±3.7, 452.5±3.2	U-Pb zircon	Cho <i>et al.</i> (2009, 2014)
· SW of Hyangsanri area (EP2)	Quartzite	423.9±5.6, 462.5±3.9	U-Pb zircon	Park <i>et al.</i> (2011)
Midongsan Formation in the Midongsan unit (EP3)	Quartzite	447±5	U-Pb zircon	Cho <i>et al.</i> (2013)
Gyemyeongsan Formation in the Gyemyeongsan unit				
· Eoraesan area (EP4)	Ore body of metaacidic rock	444.6±8	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th allanite	Cheong <i>et al.</i> (2015)
Middle Paleozoic				
Gyemyeongsan Formation in the Gyemyeongsan unit				
· Near Chungju iron mine area (MP1)	REE ore of metaacidic rock	330±20	Sm-Nd	Park and Kim (1995)
· Near Chungju iron mine area (MP2)	Alkali granite	338±30	Sm-Nd	Kim <i>et al.</i> (1998)
Bibong and E Formation in the Majeonri unit (MP3)	Metapsammittic rock	ca. 354~398	U-Pb zircon	Lim <i>et al.</i> (2005)
Hwanggangri Formation in the Hwanggangri unit (MP4)	Granitic gneiss clast of matacongglomerate rock	369±10	CHIME	Suzuki <i>et al.</i> (2006)
Early Jurassic				
Eoraesan area (EJ1)				
· Eoraesan area (EJ2)	Pegmatite	ca. 190	U-Pb zircon	You <i>et al.</i> (2012)
· Chungju iron mine area (EJ3)	Granite dyke	190.1±1.6 (rim), 853.9±3.8 (core)	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U zircon	Cheong <i>et al.</i> (2015)
· Chungju iron mine area (EJ4)	Granite dyke	187.1±2.3 (rim), 853.9±3.8 (core)	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U zircon	Cheong <i>et al.</i> (2015)
· Eoraesan area (EJ5)	Pinkish biotite granite	194.4±4.5 (rim), 853.9±3.8 (core)	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U zircon	Cheong <i>et al.</i> (2015)
	Ore body of metaacidic rock	ca. 183~199	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th allanite	Cheong <i>et al.</i> (2015)
Middle Jurassic				
Near Chungju city (MJ)				
	Porphyritic biotite Chungju granite	176.4±2.0 (rim), 2,400~1,760 (core)	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U zircon	Cheong <i>et al.</i> (2015)

기질에 석회암을 주 구성역으로 하고, 주로 황강리층에서 산출된다.

옥천퇴적분지의 열곡작용과 이에 수반된 화성활동은 적어도 4회(신원생대 2회, 고생대 2회) 발생하였다. 전기 신원생대 열곡작용(약 852~892 Ma)은 퇴적기원과 화성기원의 변성암류가 다수 산출되는 계명산층과 향산리돌로마이트층 그리고 대향산규암층을 포함하는 계명산 지구조단위를 중심으로 그리고 중기 신원생대 열곡작용(약 747~762 Ma)는 변성 화성암류가 우세하게 산출되는 문주리층과 운교리층을 포함하는 지등산 지구조단위를 중심으로 옥천변성대의 북서부에서 발생하여 다량의 화산 및 심성 산성암류와 함께 이와 교호하는 계명산형과 문주리형 변성역질암을 각각 산출시켰다. 전기 고생대 열곡작용(약 424~463 Ma)은 옥천변성대의 남동부를 중심으로 우세하게 그리고 북서부를 중심으로 소규모로 발생하여 합금리 지구조단위에 다량의 화산 및 심성 염기성암류를 산출시켰으며, 중기 고생대 열곡작용(약 330~398 Ma)은 옥천변성대의 중앙부를 중심으로 우세하게 그리고 북서부를 중심으로 소규모로 발생하여 황강리 지구조단위에 다량의 황강리형 변성역질암과 이에 교호하는 화산산성암류를 산출시켰다.

옥천변성대 북서부에서는 중생대 전기 쥐라기(약 183~199 Ma)와 중기 쥐라기(약 160~180 Ma)의 화성활동이 있었다. 전기 신원생대 화성암류를 근원 물질로 하는 전기 쥐라기 페그마타이트와 흑운모화강암은 계명산층 내에 각각 소규모로 그리고 광역적으로 산출되며 구성암류를 접촉 변성시켰다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원의 국내 희유금속 자원 탐사 및 활용기술개발 사업과 정보 융합형 광물자원기술개발 사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드린다. 그리고 본 논문을 심사하여 여러 좋은 지적과 조언을 해 주신 이승렬 박사과 조형성 박사께 감사드린다.

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, D.-L., Lee, S.R., Koh, H.J., Park, J.-B., Armstrong, R. and Choi, D.K., 2014, Late Ordovician volcanism in Korea constrains the timing for breakup of Sino-Korean Craton from Gondwana. *Journal of Asian Earth Sciences*, 96, 279-286.
- Cho, D.-L., Park, J.B., Koh, H.J. and Lee, S.R., 2009, The First Report on Late Ordovician (442-452 Ma) Volcanism in the Uppermost Part of Chosun Supergroup Identified from the Ognyeobong Formation of Ogcheon Belt, South Korea. *Proceedings of the Annual Joint Conference Mineralogical Society of Korea and Petrological Society of Korea (Abstracts)*, Chuncheon, May 28-29, 70-71 (in Korean).
- Cho, M., Cheong, W., Ernst, W.G., Yi, K. and Kim, J., 2013, SHRIMP U-Pb ages of detrital zircons in metasedimentary rocks of the central Ogcheon fold-thrust belt, Korea: Evidence for tectonic assembly of Paleozoic sedimentary protoliths. *Journal of Asian Earth Sciences*, 63, 234-249.
- 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).
- Choi, W.C. and Kim, D.H., 1981, The study of Ogcheon Geosynclinal Belt (I). Report on Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 7, 19-43 (in Korean with English abstract).
- Cluzel, D., Cadet, J.P. and Lapiere, H., 1990, Geodynamics of the Ogcheon belt (South Korea). *Tectonophysics*, 183, 41-56.
- Eby, G.N., 1992, Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications. *Geology*, 20, 641-644.
- Ihm, M.H., Kim, Y.E. and Chang, T.W., 1991, Deformation History and Strain Analysis of Dael yangsan Quartzite in Chungju Area, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 27, 191-199 (in Korean with English abstract).
- 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. 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).
- Koh, S.-M., Kim, J.-H. and Park, K.-H., 2005, Neoproterozoic A-type Volcanic Activity within the Okcheon Metamorphic Belt. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 14, 157-168 (in Korean with English abstract).
- Koh, S.-M. *et al.*, 2015, Exploration and security of domestic rare metal mineralized belt. KETEP 2012 annual report, unpublished.
- 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, 1-52 (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, 35p (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, 51p (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.
- Lee, C.H. and Kim, J.H., 1972, Geological report of the Goesan sheet (1:50,000), Korea. Institute of Energy and Resources, 22p (in Korean with English abstract).
- Lee, D.S., Chang, K.H. and Lee, H.Y., 1972, Discovery of Archaeocyatha from Hyangsanri Dolomite Formation of the Ogecheon System and its Significance. *Journal of the Geological Society of Korea*, 8, 191-197 (in Korean with English abstract).
- Lee, H.-Y., Yu, K.M. and Lee, S.J., 1989, Microfossils from the limestone pebbles of the Hwanggangri Formation and the Hyangsanri Dolomite in the Okcheon Zone, south Korea. *Journal of the Paleontological Society of Korea*, 5, 91-101.
- Lee, J.-H., 1999, Age unknown Ogcheon Supergroup. In: Geological Society of Korea (ed.), *Geology of Korea*, Sigma press, 56-91 (in Korean).
- 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.
- Lee, M.S. and Park, B.S., 1965, Geological report of the Hwanggangri sheet (1:50,000), Korea. Institute of Energy and Resources, 43 p (in Korean with English abstract).
- 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).
- Lim, S.-B., Chun, H.Y., Kim, Y.B., Kim, B.C. and Song, K.-Y., 2006, Stratigraphy and geological ages of the metasedimentary strata in Jinsan ~ Boksu area, Chungcheongnam-do, NW Okcheon belt. *Journal of the Geological Society of Korea*, 42, 149-174 (in Korean with English abstract).
- Lim, S.-B., Chun, H.Y., Kim, Y.B., Lee, S.R. and Kee, W.-S., 2007, Geological ages and stratigraphy of the metasedimentary strata in Hoenam ~ Miwon area, NW Okcheon belt. *Journal of the Geological Society of Korea*, 43, 125-150 (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).
- Park, K.-H., Lee, T.-H. and Yi, K., 2011, SHRIMP U-Pb ages of detrital zircons in the Daehyangsan Quartzite of the Okcheon Metamorphic Belt. Journal of the Geological Society of Korea, 47, 423-431 (in Korean).
- Park, M.-E. and Kim, G.-S., 1995, Genesis of the REE Ore Deposits, Dhungju 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).
- Ree, J.-H., Choh, S.-J., Jung, H.M. and Lee, D.-J., 2016, Re-examination of a supposed 'archaeocyath' specimens from the Hyangsanni Formation, Okcheon Basin, Korea. Geosciences Journal, 20, 285-294.
- 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.
- Reedman, A.J. and UM, S.H., 1975, The geology of Korea. Geological and Mineral Institute of Korea, 139 p.
- Ryu, I.-C. and Kim, T.-H., 2009, Stratigraphy and Geological Structure of the Northwestern Okcheon Metamorphic Belt Near the Chungju Area. Journal of Economic and Environmental Geology of Korea, 42, 9-25 (in Korean with English abstract).
- 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 : October 7, 2016

Revised : February 8, 2017

Accepted : February 14, 2017