

부산 기장군에 분포하는 백악기 이천리층 사암 조성의 예비 연구: 기원지와 조구조 역사 해석에의 의의

주영지^{1,*} · 양희선¹ · 김경태¹ · 김현주^{1,2}

¹부경대학교 환경지질과학전공, 48513, 부산광역시 남구 용소로 45

²부경대학교 활성단층 및 지진재해저감연구소, 48513, 부산광역시 남구 용소로 45

Preliminary Results from Sandstone Petrography of the Icheonri Formation in Gijang-gun, Busan: Implications for Provenance and Tectonic Setting

Young Ji Joo^{1,*}, Heeseon Yang¹, Kyeongtae Kim¹, and Hyun Ju Kim^{1,2}

¹Major of Environmental Earth Sciences, Pukyong National University,
45 Yongso-ro, Busan 48513, Republic of Korea

²Active Fault & Earthquake Hazard Mitigation Institute, Pukyong National University,
Busan 48513, Republic of Korea

Abstract: While numerous previous studies investigated the provenance and tectonic history of the Gyeongsang Supergroup, less are known about other Cretaceous strata in South Korea. This study presents preliminary results from petrographic analysis of the Cretaceous Icheonri Formation distributed in Gijang-gun, Busan. Based on the immature texture and composition of the Icheonri sediments, we interpret that they were derived from weakly denudated Cretaceous arc volcanoes developed along the eastern margin of the Asian continent, with limited weathering and transport. Additionally, the presence of chrome spinel grains in the sediments suggests the existence of ultramafic bodies exposed in their provenance. Further studies will advance our understanding of the tectonic developments in the southeastern Gyeongsang Basin, and facilitate a comprehensive correlation between the Icheonri Formation and the Gyeongsang Supergroup.

Keywords: Icheonri Formation, modal composition, volcanic arc, ultramafic rock, chrome spinel

요약: 한반도에 분포하는 백악기 육성퇴적층 중 경상누층군 퇴적물의 기원지 조성과 조구조 환경에 대한 연구는 활발하게 이루어진 반면에 그 외 퇴적층에 대한 사암의 암석학적 연구는 아직 부족하다. 본 연구에서는 부산 기장군 일광읍 신평리 해안가 일대에 분포하는 백악기 이천리층의 사암을 대상으로 암석기재학적 연구를 수행하여 기원지의 특성에 대한 예비 해석 결과를 보고하였다. 이천리층 사암은 미성숙한 조성과 조직을 나타내며 백악기 당시 유라시아 동쪽 연변부에서 일어난 고태평양판의 섭입에 의해 용기하여 발달한 화산호로부터 단시간에 퇴적물이 생성되어 운반된 것으로 보인다. 그리고 사암 내 부수광물로 크롬 침정석이 다수 관찰되는데, 이는 기원지에 초고철질암이 분포하였음을 의미한다. 향후 추가 연구를 바탕으로 크롬 침정석 기원암의 형성 환경 뿐만 아니라 이천리층 퇴적 당시 경상분지 동남부의 조구조 환경에 대한 해석과 경상누층군과의 층서 대비가 가능할 것으로 기대된다.

주요어: 이천리층, 사암 조성, 화산호, 초고철질암, 크롬 침정석

*Corresponding author: yjoo@pknu.ac.kr
Tel: +82-51-629-6628

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서 론

중생대 백악기 동안 한반도는 유라시아 대륙 동쪽 가장자리에서 일어난 고태평양판인 이자나기판의 섭입에 의한 활성 대륙 연변부 환경에 놓여있었으며, 그 결과 섭입에 수반하여 화산호 주변에 크고 작은 육성 퇴적분지가 형성되었다(Lee, 1999; Chough and Sohn, 2010; Lee et al., 2023). 주변 지역의 기반암 및 섭입대에 발달한 화산호와 부가복합체(accretionary complex)로부터 공급된 백악기 육성 퇴적분지 충전물은 당시 기후, 퇴적환경, 분지 발달사 및 기원지의 조구조 환경을 해석하는 주요한 증거이기 때문에 지난 수십 년간 다수의 연구가 진행되었다. 특히 백악기 퇴적층을 대상으로 하는 기원지 연구는 한반도 동남부에 가장 넓게 발달한 경상분지의 경상누층군에 대부분 집중되었으며, 사암의 암석학, 사암과 이암의 지화학 조성, 쇄설성 저어콘의 연대 측정에 대한 방대한 연구 결과가 축적되어 과거 조구조 및 고지리 복원에 기여하였다(Lee et al., 2023 and references therein). 최근에는 경상분지 이외의 백악기 소분지 퇴적층을 대상으로 쇄설성 저어콘 연대 측정 연구가 활발히 진행되었으며(e.g. Chae et al., 2021, 2022), 이들 연구에서의 주요 쟁점은 국내 백악기 퇴적층의 최대 퇴적 시기를 파악하고 이를 통하여 경상누층군과의 시층서 관계 및 퇴적층의 해석하며, 궁극적으로 분지 발달사와 조구조 환경의 변천 역사를 복원하는 것이다. 그러나 경상누층군 외 백악기 육성퇴적층을 구성하는 사암의 암석학적 특징을 기반으로 한 기원지 해석 연구는 아직 추가 연구를 통한 보완이 필요한 실정이다.

백악기 이천리층은 경상분지 남단에 해당하는 부산광역시 기장군 일대에 분포하는 퇴적층으로 그 층서 관계와 암석학적 특징에 대한 연구는 아직 미진한 상황이다. 현재 일본열도를 구성하는 부가복합체와 소규모 지괴들이 한반도 동쪽 연변에 인접하여 발달 하였던 백악기 고지리 분포(Joo et al., 2007; Lee, 2008)를 고려하면, 비록 소규모이지만 경상분지 동남쪽 가장자리에 위치한 이천리층은 백악기 당시에 발달한 화산호 인근 환경에 노출되었던 기원암에 대한 중요한 정보를 보존하였으리라 여겨진다. 본 연구에서는 백악기 이천리층에 분포하는 사암의 박편 관찰을 통한 암석학적 특징을 바탕으로 기원지에 분포한 암석과 조구조 환경을 복원하기 위한 기초 자료를

확보하는 예비 연구를 수행하였으며, 그 결과인 기원지에 대한 일차적인 해석 결과를 소개하고자 한다. 또한 이천리층 사암에서 부수광물인 크롬 침정석(chrome spinel)의 산출을 최초로 보고하고 이것이 이천리층의 기원지 해석에 갖는 의의와 향후 연구 방향에 대하여 간략히 제안하고자 한다.

지질 개요

경상분지를 충전하는 경상누층군은 하부로부터 신동층군, 하양층군, 유천층군의 세 암층서 단위로 구분된다. 충적평원 및 하·호성 환경에서 퇴적된 신동층군의 쇄설성 퇴적암에는 화산 기원 물질이 부재하거나 소량 산출하나, 하·호성 퇴적층인 하양층군은 화산 기원 물질을 다량 포함하며, 최상부의 유천층군은 주로 화산 기원 물질로 구성된다(Chang, 1975). 또한 경상분지는 공간적으로 북쪽으로부터 영양소분지, 의성소분지, 밀양소분지로 나뉘며 분지 내 층서 단위는 다소 상이하다(see Lee et al., 2023 for details). 연구 대상인 이천리층은 1:50000 동래·월내 지질도폭(Son et al., 1978)에서 밀양소분지 남단, 경상분지의 동남부에 해당하는 부산광역시 기장군 일광면 일대에 넓게, 금정산과 백양산 주변에 소규모로 분포한다(Fig. 1). 연구 지역인 일광면 신평리 일대에서 이천리층은 그 주변의 백악기 관입암류와 분출 기원 암석으로 둘러싸여 있으며, 이와 같은 후기 화성 활동에 의한 열변성 작용으로 혼펠스화 된 것이 확인된다. 최근 Kim et al. (2022)은 신평리 해안에 노출된 이천리층을 대상으로 퇴적층 특성 기재 및 퇴적상 해석 연구를 수행하여 연구 지역의 이천리층은 하성 기원의 역암 및 사암, 호수 주변부 개방수류 기원의 세립질 사암, 실트암, 이암이 교대하여 산출하는 윤희성 퇴적 기록으로서 아건조한 기후와 습윤한 기후의 반복된 변화를 반영하는 것으로 해석하였다. 이천리층의 사암 내 쇄설성 저어콘의 U-Pb 연대 측정 결과가 96 Ma로 보고된 바 있으며(Kang et al., 2014), 시층서적으로 경상누층군 유천층군에 해당하는 다대포층에 대비되는 것으로 여겨져왔다(Kim et al. 1998). 그러나 Kim et al. (2022)은 유천층군 퇴적시기 동안 활발하였던 화성활동에 의한 열변성 작용의 결과 이천리층과 하양층군의 진동층에는 혼펠스화된 부분이 빈번하게 관찰되는 반면에 다대포층에서는 부재한다는 관찰 결과를 바탕으로 이천리층이 시층서적으로 하양층군의 진동층에 대비될 수 있을 가능성

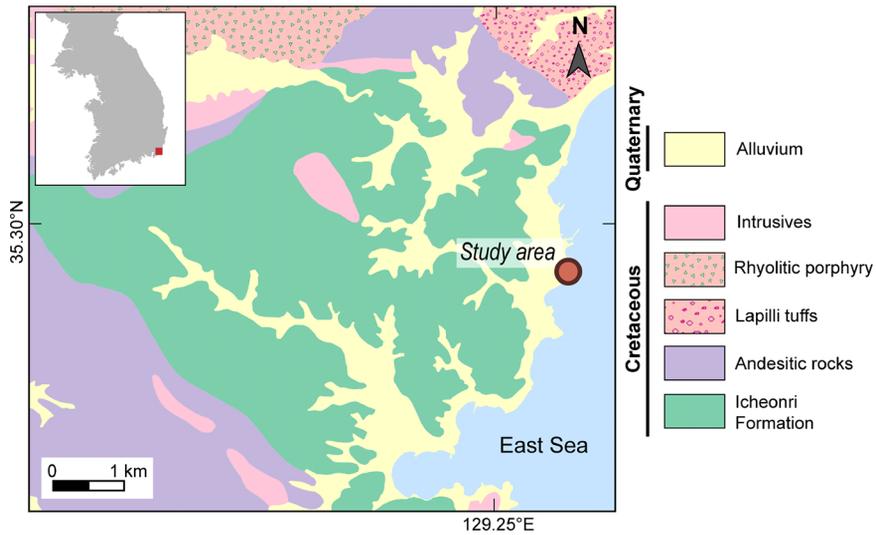


Fig. 1. Geologic map of the southeastern part of the Gyeongsang Basin, where the Cretaceous Icheonri Formation is distributed (Son et al., 1978). The study area is located on the coastline where the Icheonri Formation is exposed.

을 고려하였다. 따라서 이천리층의 정확한 퇴적 시기를 제한하고 기원지 암석의 연대를 파악하기 위해서는 추가적인 쇄설성 저어콘 연대 측정 및 보다 상세한 저어콘 연대 분포에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

연구 방법

부산 기장군 신평리 해안에 노출된 이천리층(Fig. 1)의 4개 퇴적 단면(Kim et al., 2022)에서 세립-중립질 사암 시료 15점을 고르게 채취하였다. 채취한 시료를 대상으로 박편을 제작하여 편광현미경 하에서 관찰하였으며, 그 중 7점의 시료를 이용하여 Indiana 대학교 방법(Indiana University Method; Ingersoll et al., 1984)으로 박편 당 300개의 점셈(point counting)을 수행하여 그 구성 입자의 성분비를 정량화하였다.

결과 및 토의

사암의 조성과 기원지의 조구조 환경

박편 관찰 결과 이천리층의 사암 구성 입자의 원마도는 대체로 각형에서 아각형이며 분급은 좋지 않은 미성숙한 조질을 갖는다(Fig. 2). 사암 내 골격 입자 외에 기질이 흔히 관찰되며, 이는 때로는 쇄설성 기질 이외에 불안정한 암편 등의 입자가 변질되어

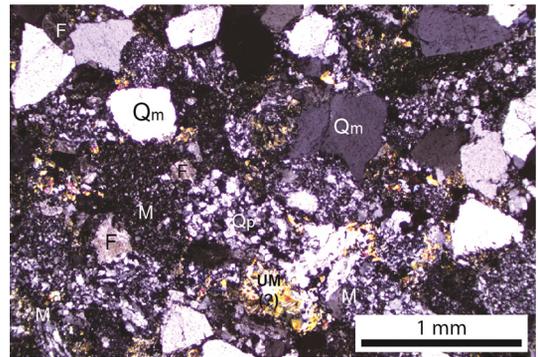


Fig. 2. Photomicrograph of an immature Icheonri sandstone sample. Qm: monocrystalline quartz, Qp: polycrystalline quartz, F: feldspar, M: metamorphic rock fragment, UM: ultramafic rock fragment.

형성된 가기질(pseudomatrix)을 상당량 포함한다. 주 구성 입자는 석영과 암편, 장석인데, 석영은 단결정질 석영과 복결정질 석영을 모두 포함한다. 암편은 주로 저변성도의 변성암편과 변성퇴적암편이며 소량의 화산암편 및 사문암편이 관찰된다. 장석은 대부분 건운모화 작용과 같은 변질의 흔적을 포함하지만 특징적인 알바이트 쌍정이 확인되는 사장석이 주로 분포한다. 부수 광물로는 운모, 크롬 침정석, 그리고 고철질 광물인 휘석이 관찰되었다. 연구된 이천리층 사암의 골격 입자의 평균 조성은 Q (석영)₁₅-F (장석)₂₆-

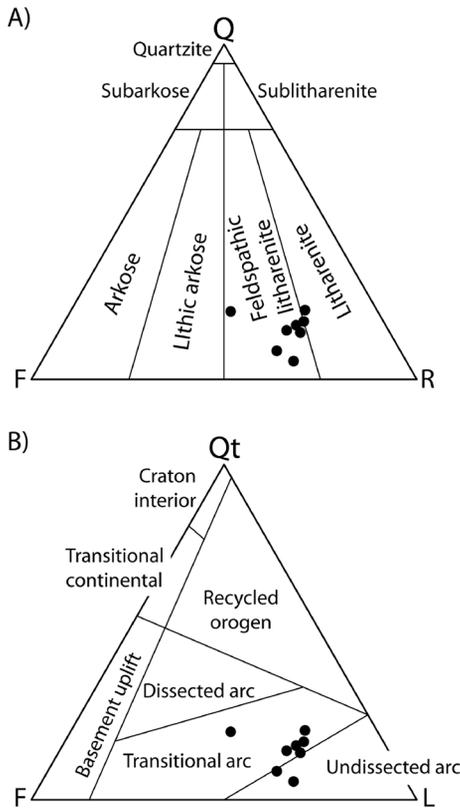


Fig. 3. Modal compositions of the Icheonri sandstones plotted on (A) sandstone classification diagram (Folk, 1974) and (B) QtFL compositional space with tectonic fields of Dickinson (1985). Q and Qt: total quartz (mono- and polycrystalline quartz grains), F: feldspar (plagioclase and K-feldspar), R: Rock fragment and L: lithic fragment (excluding carbonates).

R (암편)으로 Folk (1974)의 분류에 따라 장석질 암편 사암(feldspathic litharenite) 내지는 암편사암(litharenite)으로 분류된다(Fig. 3A).

다양한 조구조 환경(tectonic setting)에 분포하는 현생 사질 퇴적물의 석영, 장석, 암편의 비율은 기원지 환경의 지시자로 널리 이용되어왔다(Dickinson, 1985). 이천리층 사암을 구성하는 골격 입자의 조성을 Dickinson (1985)의 Qt (단결정질 및 복결정질 석영)-F (장석)-L (암편) 다이어그램에 적용한 결과 이들 퇴적물은 화산호 주변 환경에서 기원한 것으로 보이며, 구체적으로 식박되지 않은 화산호(undissected arc)에서 중간 정도 식박된 화산호(transitional arc) 기원지에서 유래한 것으로 도시된다(Fig. 3B), 분급과 원마도가 불량한 연구 지역 이천리 사암의 미성숙한

조직과 암편과 장석이 주를 이루는 미성숙한 조성은 이들이 지형 기복이 심한 활성 대륙 연변부에 비교적 퇴적 시기에 가까운 과거 혹은 동시기에 발달한 화산호로부터 단거리 운반을 겪은 퇴적물임을 뒷받침한다. 또한 지표 환경에 노출되었을 때 화학적 풍화에 대한 저항성이 낮아 사암에서 드물게 산출되는 고철질 광물인 휘석이 이천리 사암에 부수 광물로 산출한다는 사실 역시 짧은 풍화와 운반 과정을 시사하는 증거이다.

이와 같은 이천리층 사암의 암석학적 특징을 이전 연구에서 보고된 경상누층군의 사암과 비교하면, 이천리층과 대비되는 유천층군이 주로 화산암과 화산쇄설암으로 구성되는 반면에 연구 지역에 분포하는 이천리층의 사암에서 화산 기원 물질의 비율은 높지 않은 편이다. 사암 골격 입자 조성을 기준으로 할 때, 연구 지역의 사암은 암편질 사암 혹은 장석질 사암이 우세한 하양층군의 사암(Lee and Lee, 2000; Lee and Kim, 2005)과 더 유사한 것으로 보인다. 하양층군의 사암의 기원지는 Dickinson (1985)의 QtFL 다이어그램에서 강괴 내부(craton interior), 기반암 융기대(basement uplift), 재순환된 조산대(recycled orogen), 화산호 환경(undissected-transitional-dissected arc)에 다양하게 도시되는데, 경상분지 북부의 영양소분지에는 주로 강괴 내부와 기반암 융기대, 조산대, 그리고 식박된 화산호의 기원지에서, 남쪽의 의성소분지 및 밀양소분지 서부에는 재순환된 조산대와 화산호 기원지로부터 퇴적물이 공급되었던 것으로 알려져 있으며, 특히 하양층군 퇴적 시기 후기로 갈수록 화산호 기원지의 기여가 증가한 것으로 해석되었다(Lee and Lee, 2000; Lee and Kim, 2005). 본 연구의 결과와 경상누층군의 사암 조성을 비교하면 이천리층 사암은 공간적으로 인접한 밀양소분지에 분포하는 하양층군의 사암과 그 조성 및 기원지의 조구조 환경 측면에서 가장 유사한 것으로 보인다. 이는 이천리층이 암층서적으로 유천층군의 하위에 놓인 하양층군에 대비될 가능성을 시사하지만, 암층서는 종종 시간을 가로지른다는(diachronous) 점을 고려하면 이천리층과 경상누층군의 시층서 관계 정립 뿐만 아니라 경상분지 서부와 동부의 화산호 발달 역사를 복원하기 위하여 연대 측정을 포함한 추가 연구가 필요하다.

쇄설성 크롬 침정석의 산출과 그 의의

연구한 이천리층 사암 시료 중 대부분의 시료에서

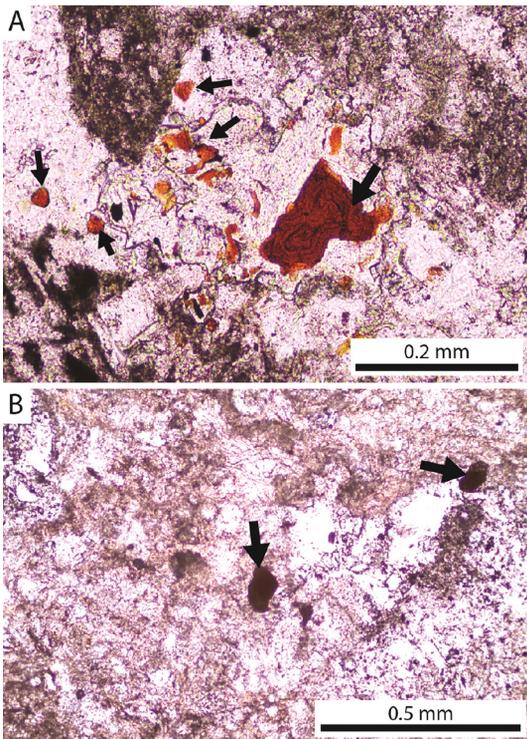


Fig. 4. Photomicrographs showing detrital chrome spinels (arrows) from the Icheonri Formation. They occur as both (A) large and small crystals within a rock fragment and (B) single detrital grains.

크롬 침정석이 관찰되었으며, 이들은 연구 지역에 분포하는 이천리층 특정 층수에 제한되지 않고 층서 단면 전체에서 고르게 산출한다. 시료 1점당 적게는 1-2개에서 최대 20개 이상의 크롬 침정석 입자를 확인하였으며, 이들은 적색에서 적갈색을 띤다. 크롬 침정석은 단일 입자 혹은 암편의 일부로서 산출하는데, 암편에 포함된 경우 휘석과 함께 산출하거나, 사문암(serpentinite)의 조직이 침정석 주변에서 함께 확인되었다. 또한 크롬 침정석 결정이 암편 내 포함되어 자형 결정의 직선 가장자리를 보존한 것(Fig. 4A)과 입자 표면이 마모된 단일 결정 입자가 모두 관찰되었다(Fig 4B).

크롬 침정석은 초고철질 암체를 구성하는 부수광물로서 암체 내 소량 포함되어 있으나, 초고철질암을 구성하는 대부분의 광물들에 비하여 물리적, 화학적인 내구도가 높아 풍화, 운반 과정을 거쳐 쇄설성 퇴적암에 보존될 수 있기 때문에 초고철질 기원암의 지시자로 이용된다(Arai and Okada, 1991; Hisada et

al., 2008 amongst others). 또한 크롬 침정석의 화학 조성은 모암이 생성되었을 때 마그마의 조성 and 결정 정출 환경을 반영하므로 조구조 환경에 대한 단서를 제공한다(e.g., Irvine, 1967). 이천리층 사암에서 풍부하게 산출하는 크롬 침정석은 이천리층 퇴적 시기 전반에 걸쳐 기원지에 초고철질 암체가 노출되어 퇴적물을 공급하였음을 의미한다. 특히 결정 형태가 보존된 점, 단일 쇄설성 입자가 아닌 크롬 침정석을 포함한 사문암편과 휘석을 포함한 초고철질 암편이 사암 내 포함되었다는 사실은 크롬 침정석은 퇴적암으로부터 재순환된 것이 아닌 초고철질 암체로부터 공급된 1차 기원의 입자임을 반영한다. 또한 크롬 침정석이 모암에서 적은 양의 부수 광물로 산출한다는 점을 고려하면 이천리층 기원지 유역 분지 내 초고철질 암체의 규모는 작지 않았을 것으로 추정된다. 이 암체는 이천리층 퇴적 분지에서 매우 가까운 거리에 분포하였으며, 풍화와 침식, 운반, 퇴적은 상당히 짧은 거리와 시간에 걸쳐 일어났을 것이다. 앞서 논의한 사암의 조성에 기반한 기원지 해석과 종합하면 연구 지역의 이천리층을 구성하는 퇴적물은 가까운 거리에 용기하여 크게 식박되지 않은 화산호에서 공급되었으며 용기대에는 화산호의 발달에 수반하여 지표에 노출된 초고철질 암체가 상당한 면적을 차지하고 있었으리라 사료된다. 크롬 침정석을 포함한 암체가 주된 골격 입자를 공급한 기원암보다 매우 가까운 곳에 위치하였을 가능성도 있으나 두 종류의 입자들의 원마도에서 큰 차이가 없으며 골격 입자의 조성 또한 미성숙하므로 두 종류의 기원암 모두 분지로부터 가까운 곳에 인접하여 분포하였을 것이라 보는 편이 더 합당하다.

이천리층에 크롬 침정석을 공급한 초고철질 암체가 퇴적 분지로부터 가까운 곳에 위치하였을 것이라는 해석을 고려하면 크롬 침정석의 기원암은 경상분지, 혹은 현재 이천리층이 분포하는 부산광역시 기장군 인근에 존재하였을 가능성이 크다. 현재 한반도의 초고철질 암체는 울산, 경북 안동, 충남 홍성 인근에 소규모로 분포하며 다양한 정도로 사문함화 되어있다(Seo et al., 2005; Hisada et al., 2008; Kim and Choi, 2016). 이들 초고철질암의 생성 시기는 명확하지 않으나 대체로 선캄브리아시대에서 트라이아스기까지로 알려져 있어(Kim et al., 2006; Jeong et al., 2014) 백악기 퇴적분지에 퇴적물을 공급할 수 있었을 것으로 추정된다. Hisada et al. (2008)과 Lee and

Lim (2022)에 의하여 이들 초고철질암에 포함된 크롬 침정석의 화학조성이 뚜렷하게 구분되는 것으로 보고되었으며, 실제 울산의 암체는 듀나이트(dunite)와 하즈버자이트(harzburgite), 안동의 암체는 듀나이트와 웰라이트(wehrlite), 감람암(peridotite) 등의 복합체, 그리고 홍성 지역의 초고철질암은 레졸라이트(lherzolite), 듀나이트, 하즈버자이트의 복합체로 알려져 있다(Seo et al., 2005, 2019; Kim and Choi, 2016). 이천리층 사암에서 관찰된 크롬 침정석이 때로는 사문암편에 포함된 상태로 산출한다는 사실은 기원암이 적어도 일부분 사문암화 되었음을 의미하며, 실제 울산 사문암이 현재 지리적으로 이천리층 분포 지역에 가장 가깝기 때문에 울산 사문암을 이천리층의 주요한 기원암 후보로 고려할 수 있다. 그러나 지표에 분포하는 초고철질 암체는 대부분 다양한 정도로 사문암화 작용을 거치므로 이와 같은 해석에는 신중한 접근이 필요하다. 이천리층에 포함된 크롬 침정석의 기원지 암석의 종류와 생성 환경에 대한 해석을 위해서는 침정석의 화학조성에 대한 추가 연구 자료가 확보되어야 할 것이다.

현재까지 한반도 퇴적층 중 백악기 경상누층군의 신동층군 내 쇄설성 크롬 침정석의 산출과 그 기원에 대한 논의가 진행되었다(Hisada et al., 2008; Lim et al., 2019; Lee and Lim, 2022 and references therein). 초기 연구에서 Hisada et al. (2008)은 신동층군의 진주층에서 쇄설성 크롬 침정석의 산출과 그 화학 조성을 보고하고 이들이 일본에 분포하는 부가 복합체에 포함된 초고철질 암체에서 기원한 것으로 해석하였다. 이후 추가 연구를 통하여 신동층군 이암의 지화학 조성에서 초고철질 암체에 부화된 Ni 및 Cr의 함량을 바탕으로 이들 기원지에 맨틀췌기 기원의 감람암이 소규모로 분포하였으리라 해석하였다(Lim et al., 2019), 최근 Lee and Lim (2022)은 신동층군(낙동층, 하산동층, 진주층)에 포함된 크롬 침정석의 화학조성과 한반도 및 일본 열도에 분포하는 초고철질 암체에 포함된 크롬 침정석의 조성을 비교하여 퇴적 당시 인접한 화산호의 전호환경에 발달한 호남 전단대(Honam Shear Zone)를 따라 맨틀 기원 감람암이 노출되어 크롬 침정석을 포함한 퇴적물을 공급하였음을 제안하였다. 이와 같이 현재는 식박되어 사라진 크롬 침정석을 포함한 초고철질 기원암의 존재와 그 생성 환경 및 지표로의 용기 과정은 백악기 당시 화산호 발달에 수반한 분지의 형성과 조구

조 역사 복원에 중요한 정보를 제공하였다. 향후 추가 연구를 통하여 이천리층 쇄설성 크롬 침정석의 기원암의 형성 환경에 대하여 밝혀낸다면 현재까지 축적된 경상분지 발달사 해석에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

결 론

본 연구에서는 부산광역시 기장군에 분포하는 백악기 이천리층의 사암의 조성과 조석을 관찰하고 그 기원지에 대한 일차적 해석 결과를 제시하였다. 연구 지역에 분포하는 이천리층 사암은 대체로 미성숙한 조석을 나타내며 암편과 장석이 우세한 미성숙한 조성을 갖는다. 이를 바탕으로 이들이 대체로 미약하게 식박된 젊은 화산호로부터 공급되었으며, 용기한 화산호와 퇴적분지 사이의 지형 구배가 크며 풍화와 운반은 비교적 짧은 시간과 거리에서 일어난 것으로 해석하였다. 이와 같은 이천리층 사암의 암석학적 특징과 기원지 해석은 경상누층군 하양층군 상부 지층과 유사하다. 또한 이 연구에서는 이천리층 사암에서 쇄설성 크롬 침정석이 산출함을 최초로 보고하였다. 초고철질 암체에서 기원하는 크롬 침정석은 기원지의 조구조 환경에 대한 중요한 정보를 제시하며, 경상누층군 신동층군에서 산출하는 크롬 침정석의 조성을 바탕으로 백악기 당시 동아시아 연변의 조구조 환경에 대한 연구가 진행된 바 있다. 향후 크롬 침정석의 화학 조성, 쇄설성 저어콘의 연대 측정 등을 포함한 추가 연구가 진행된다면 이천리층 퇴적물의 기원지 해석, 층서 대비 뿐만 아니라 경상분지 서부에 비하여 상대적으로 연구가 부족한 경상분지 동부의 백악기 조구조 환경에 대한 종합적인 이해가 가능할 것이다.

사 사

지구과학회지 편집위원 및 두 분의 심사위원께 감사의 말씀을 전합니다. 이 논문은 한국연구재단 중견연구(2022R1A2C1004798)에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

- Arai, S. and Okada, H. 1991. Petrology of serpentine sandstone as a key to tectonic development of

- serpentine belts. *Tectonophysics*, 195, 65-81.
- Chae, Y.U., Ha, S., Choi, T., Kim, C.B., Kim, K.S. and Lim, H.S., 2021. Detrital zircon provenance of the Lower Cretaceous Duwon Formation based on LA-MC-ICPMS U-Pb ages and morphology in the Goheung area, southern Korea: A new supply mechanism of Early Cretaceous zircons. *Cretaceous Research*, 128, 104955.
- Chae, Y.U., Ha, S., Joo, Y.J., Paik, I.S., Kang, H.C. and Lim, H.S., in press. Detrital zircon U-Pb ages of the Cretaceous Dadaepo Formation in Busan, Korea and their geological implication. *Episodes Journal of International Geoscience*.
- Chang, K.H., 1975. Cretaceous stratigraphy of Southeast Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 11, 1-23.
- Chough, S.-K., Sohn, Y.-K., 2010. Tectonic and sedimentary evolution of a Cretaceous continental arc-backarc system in the Korean peninsula: new view. *Earth-Science Reviews*, 101, 225-249.
- Dickinson, W.R., 1985. Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. In: Zuff, G.G. (Ed.), *Provenance of Arenites*, North Atlantic Treaty Organization, Advanced Study Institute, Series C, Mathematical and Physical Science, 148, pp. 333-361.
- Folk, R.L., 1974. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill Publishing Company, Austin, Texas, 182 p.
- Hisada, K.-i., Takashima, S., Arai, S. and Lee, Y.I. 2008. Early Cretaceous paleogeography of Korea and Southwest Japan inferred from occurrence of detrital chromian spinels. *Island Arc*, 17, 471-484.
- Ingersoll, R.V., Fullard, T.F., Ford, R.L., Grimm, J.P., Pickle, J.D. and Sares, S.W., 1984. The effect of grain size on detrital modes; a test of the Gazzi-Dickinson pointcounting method. *Journal of Sedimentary Research*, 54, 103-116.
- Irvine, T.N. 1967. Chromian spinel as a petrogenetic indicator, Part II: petrological applications. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 4, 71-103.
- Jeong, G.Y., Cheong, C.-S. et al. 2014. Mineral ages and zircon Hf isotopic composition of the Andong ultramafic complex: implications for the evolution of Mesozoic subduction system and subcontinental lithospheric mantle beneath SE Korea. *Geological Magazine*, 151, 765-776.
- Joo, Y.J., Lee, Y.I., Hisada, K.-I., 2007. Provenance of Jurassic accretionary complex: Mino terrane, inner zone of south-West Japan: implications for palaeogeography of eastern Asia. *Sedimentology* 54, 515-543.
- Kang, H.-C., Lee, S.-K., Kim, J.-S., Ha, S.M., Cheon, Y. and Son, M., 2014. Structural characteristics and evolution of the Ilgwang Fault, SE Korea. *Annual Conference of the Geological Society of Korea* (Abstracts), Jeongseon, October 29-November 1, p. 39.
- Kim, D.H., Hwang, J.H., Park, G.H. and Song, G.Y., 1998. Explanatory text of the geological map of Pusan sheet (1:250,000). Korea research Institute of Geoscience and Mineral Resources, 62 p (in Korean with English abstract).
- Kim, H.J., Paik, I.S., Park, J.G., Jeong, E.K., Kim, K., Baek, S.G., Seo, Y.K., Kim, Y.-S., Lee, H., 2022. Cretaceous Icheonri Formation at Sinpyeongri Coast, Gijang County, Busan, Korea: Occurrences and values in geological heritage. *Journal of the Geological Society of Korea*, 58(1), 1-22.
- Kim, N.K. and Choi, S.H. 2016. Petrogenesis of late Triassic ultramafic rocks from the Andong Ultramafic Complex, South Korea. *Lithos*, 264, 28-40.
- Kim, S.W., Oh, C.W. et al. 2006. Phanerozoic high-pressure eclogite and intermediate pressure granulite facies metamorphism in the Gyeonggi Massif, South Korea: implications for the eastward extension of the Dabie-Sulu continental collision zone. *Lithos*, 92, 357-377.
- Lee, D.-W., 1999. Strike-slip fault tectonics and basin formation during the Cretaceous in the Korean Peninsula. *Island Arc*, 8, 21-231.
- Lee, J.I., Lee, Y.I., 2000. Provenance of the Lower Cretaceous Hayang Group, Gyeongsang Basin, southeastern Korea: implications for continental-arc volcanism. *Journal of Sedimentary Research*, 70, 151-158.
- Lee, Y.I., 2008. Paleogeographic reconstructions of the East Asia continental margin during the middle to late Mesozoic. *Island Arc* 17, 458-470.
- Lee, Y.I., Kim, J.Y., 2005. Provenance of the Hayang Group (Early Cretaceous) in the Yeongyang Subbasin, SE Korea and its bearing on the cretaceous palaeogeography of SW Japan. *Palaeogeography. Palaeoclimatology. Palaeoecology*, 228, 278-295.
- Lee, Y.I. and Lim, H.S., 2022. Detrital chromian spinels in the Cretaceous Sindong Group, SE Korea: implications for tectonic emplacement of hydrated mantle peridotites. *Journal of the Geological Society*, 179(6), pp.jgs2022-003.
- Lee, Y.I., Lee, J.I. and Choi, Y.S., 2023. Provenance analysis of the Cretaceous Gyeongsang Basin, SE Korea: A synthesis and tectonic implications for active continental margin in East Asia. *Earth-Science Reviews*, 238, 104334.
- Lim, H.S., Choi, T., Lee, H. and Lee, Y.I. 2019. Trace-element composition of the Cretaceous Sindong Group, Gyeongsang Basin, Korea and its implication for provenance. *Journal of Geological Society of Korea*, 55, 531-549 (in Korean with English abstract)
- Seo, J., Choi, S.G., Oh, C.W., Kim, S.W. and Song, S.H. 2005. Genetic implications of two different ultramafic

rocks from Hongseong area in the southwestern Gyeonggi massif, South Korea. *Gondwana Research*, 8, 539-552.

Seo, J., Choi, S.-G., Kim, J.W. and Ryu, I.-C. 2019. Unique sodic-calcic skarn hosted by ultramafic rocks and albitite at the Ulsan skarn deposit, Gyeongsang Basin, South Korea. *Ore Geology Reviews*, 105, 537-

550.

Son, C.M., Lee, S.M., Kim, Y.K., Kim, S.W. and Kim, H.S., 1978. Explanatory text and Geological map of Dongrae and Weolnae sheets (1:50,000). Korea Research Institute of Geoscience and Mineral Resources, 27 p (in Korean with English abstract).

Manuscript received: April 17, 2023

Revised manuscript received: April 27, 2023

Manuscript accepted: April 27, 2023