

<Short Note>

한국 경기지괴 서부와 중국 주요지괴에 분포하는 신원생대 및 고생대 암류의 지구조적 특성 대비: 지질연대학적 의미

김성원 · 기원서[‡]

한국지질자원연구원 국토지질연구본부

요 약

중국의 대륙충돌대인 친링-다비-수루대와외의 지구조적 대비로 주목받고 있는 경기지괴 서부지역에는 로디니아 초대륙 관련 신원생대 화성작용, 고생대 초-중기 칼레도니아 조산운동, 고생대 고테티스해의 퇴적작용 등에 대한 복합적인 증거들이 보고되고 있다. 본 논평은 경기지괴 서부지역과 중국의 다양한 신원생대 및 고생대 암석에서 보고된 저어콘 U-Pb 연대측정 자료를 비교하고, 이들 암석의 지각진화 및 동아시아 지구조 특성 대비 연구에 중요한 정보를 제공하고자 한다. 경기지괴 서부의 신원생대 로디니아 초대륙 관련 암석의 산출과 지질연대자료는 이 지역이 남중국의 양쯔지괴, 강남조산대, 케세이시아지괴 등과 대비될 수 있음을 보여준다. 또한 이 지역에서의 고생대 초-중기 변성퇴적암 및 화성암류, 그리고 고생대 중-후기 퇴적암(태안층)의 저어콘 연대 분포는 중국의 친리안-친링 대륙충돌조산대, 양쯔지괴와 케세이시아지괴의 고생대 초-중기 퇴적암-변성퇴적암과 유사한 경향을 보인다. 하지만 북중국의 고생대 퇴적암의 저어콘 연대분포와는 차이를 보인다. 결과적으로 경기지괴 서부지역의 신원생대 및 고생대 암석의 산출양상 및 지질연대는 남중국지괴 혹은 주변조산대의 일부와 유사하며, 특히 고생대 퇴적암들의 연대경향은 남중국지괴로부터 기원물질이 유래되었음을 시사한다. 하지만 한반도와 중국 사이에 신뢰할 수 있는 지구조 대비를 위해서는 추후 좀 더 자세한 광역적 지질연대학적 연구가 필요하다.

주요어: 경기지괴 서부지역, 신원생대, 고생대, 지구조 대비, 지질연대

Sung Won Kim and Weon-Seo Kee, 2015, Tectonic correlation of the Neoproterozoic and Paleozoic rocks between the western Gyeonggi block in Korea and major blocks in China: Geochronological implication. Journal of the Geological Society of Korea. v. 51, no. 5, p. 511-524

ABSTRACT: This note compares compiled detrital zircon U-Pb age data of various Neoproterozoic and Paleozoic rocks from the western Gyeonggi massif with those from the Chinese continents. The occurrences of Neoproterozoic rocks and the geochronological data from the western Gyeonggi massif can be correlated to those of the Yangtze and Cathaysia blocks associated with the amalgamation of the Neoproterozoic Rodinia supercontinent. The Early to Middle Paleozoic metaedimentary rocks and Middle to Late Paleozoic sedimentary rocks (Taean Formation) in this area are also compared with age populations from the Yangtze and Cathaysia blocks and Qilian-Qinling orogenic belt in China. However, age population in these areas are different with those from the North China blocks. As a result, the occurrences and geochronologies of the Neoproterozoic and Paleozoic rocks of the western Gyeonggi block in Korea are likely consistent with those of the South China block or the orogenic belt around the South China block in China. Especially, age populations of the Paleozoic sedimentary rocks strongly indicate that the sedimentary sequences were derived from similar peripheral clastic provenance of the South China block. Additional *in situ* regional-scale detailed geochronological study will be required to complete tectonic comparison between the Korean Peninsula and China.

Key words: western Gyeonggi block, Neoproterozoic, Paleozoic, tectonic correlation, geochronological implication

(Sung Won Kim and Weon-Seo Kee, Geological Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 34132, Republic of Korea)

[‡] Corresponding author: +82-42-868-3346, E-mail: wskee@kigam.re.kr

1. 서 언

지난 20여 년 동안 국내의 지질과학계의 뜨거운 논쟁을 불러일으킨 주제 중의 하나는 한반도를 포함한 동아시아 지괴들의 지구조 진화사 및 상호 대비에 대한 것이라 할 수 있다. 이와 관련된 많은 연구들 중 보다 활발한 논의가 이루어졌던 분야는 대략 (1) 콜롬비아 및 로디니아 초대륙의 지구조운동 증거에 동아시아 지괴(남중국과 북중국지괴)의 진화사 및 상호대비 연구(e.g., Cheong *et al.*, 2000; Li *et al.*, 2002; Sagong *et al.*, 2003; Kim *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2009; Santosh, 2010; Zhai and Santosh, 2011; Zhai *et al.*, 2011)와 (2) 동아시아 지괴들 간의 경계를 결정할 수 있는 원생누대, 고생대 및 중생대 초-중기 섭입대 및 충돌대의 분포와 연장에 대한 연구(e.g., Yin and Nie, 1993; Ernst and Liou, 1995; Chang, 1996; Ree *et al.*, 1996; Zhai and Cong, 1996; Zhai and Liu, 1998; Cheong *et al.*, 2000; Chough *et al.*, 2000; Sagong *et al.*, 2003; Lee and Cho, 2003; Yang *et al.*, 2005; Oh *et al.*, 2005; Oh, 2006; Metcalfe, 2006; Kim *et al.*, 2006a, 2006b, 2008, 2011a, 2011b, 2011c, 2013; Cho *et al.*, 2007, 2013; Kwon *et al.*, 2009, 2013; Williams *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2009; Dong *et al.*, 2011a, 2011b, 2011c, 2011d, 2011e; Chang and Zhao, 2012)로 대부분할 수 있다.

최근에 들어와 국내학자들에 의해서 경기지괴 서부 홍성지역과 임진강대를 연결하는 경기지괴 서부지역이 중국의 친링-다비-수루대와 지구조적으로 대비된다는 해석이 제기되어, 이 지역에 대한 지구조적 환경, 생성시기 및 변성진화과정 등에 대한 연구가 활발히 발표되고 있다(Lee *et al.*, 2003; Oh *et al.*, 2005, 2009; Kim *et al.*, 2006a, 2006b, 2008, 2011a, 2011b, 2011c, 2013, 2014a, 2014b, 2014c; Cho *et al.*, 2007, 2010, 2013; Kwon *et al.*, 2009, 2013; Kee *et al.*, 2011; Choi *et al.*, 2014). 이들 지역에서는 중생대 초기 대륙충돌대 형성 이전인 로디니아 초대륙의 분열 전-후의 신원생대 화성암류, 칼레도니아 조산작용의 고생대 초-중기 화성암류 및 고테티스해의 고생대 퇴적암체들이 함께 보고되고 있으며, 이들 암류들이 신원생대 및 고생대 초-중기 섭입환경(trench-accretionary-arc)과 밀접히 연관

될 가능성이 대두되고는 있다(Kee *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2011a, 2011b, 2011c, 2013, 2014a, 2014c; Choi *et al.*, 2014). 하지만, 대륙충돌 증거를 포함하여 신원생대-고생대-중생대 지질사건들이 서로 중복되어 복잡하게 얽혀있는 경기지괴 서부지역의 지구조진화에 대해서는 보다 체계적인 연구가 필요한 시점이다. 비록, 중국의 친링-다비-수루대는 물론, 북중국 혹은 남중국지괴의 신원생대 및 고생대 초-중기 섭입환경과 관련된 암석들에 대한 상호대비 및 지구조 연구가 시행되고 있지만(Kim *et al.*, 2006a, 2006b, 2008, 2011a, 2011b, 2013; Choi *et al.*, 2008; Kwon *et al.*, 2009, 2013; Oh *et al.*, 2009), 상대적으로 자료가 부족한 실정으로서 중국과 한반도에 분포하는 다양한 원생누대 암석들의 지질문헌조사와 연대 측정 자료구축을 통한 상호 지구조적 연계성 및 특성 대비 연구가 매우 절실하다.

본 논평에서는 최근의 한국 경기지괴 서부지역 및 중국에 분포하는 고원생대, 신원생대, 고생대 암석의 분포 및 연대측정 자료를 바탕으로 동북아 지역의 지각진화 상호 연계성 및 특성 대비 연구에 기초가 되는 정보를 제공하고자 한다.

2. 지질배경

중국에 분포하는 시생대부터 고원생대 기저암을 이루는 고지각들은 북중국지괴, 남중국지괴, 타림지괴 등의 여러 소대륙지괴(microcontinental block)들로 구성되는데 북중국지괴는 25억년과 19~18억년에 소대륙들의 섭입-융합-충돌에 의해 형성되었던 것으로 보고되고 있다(그림 1a; e.g., Zhao *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2008; Santosh, 2010; Zhai and Santosh, 2011). 낭림지괴, 경기지괴, 영남지괴 등으로 구성되는 한반도 역시, 원생누대에 일어난 콜롬비아 및 로디니아 초대륙 진화과정을 재구성하는데 중요한 단서들을 포함하고 있는 것으로 보고되고 있다(e.g., Cheong *et al.*, 2000; Sagong *et al.*, 2003; Kim *et al.*, 2008, 2014a, 2014b, 2014c).

최근, Kim *et al.* (2014b)는 한반도의 낭림, 경기, 영남지괴와 임진강대 및 옥천대에서 보고된 고원생대 콜롬비아 초대륙 및 로디니아 초대륙의 진화와 관련된 약 200여개의 지질연대자료를 바탕으로 중국의 주요지괴 및 지구조 사건에 대비하고 다음과

같이 해석하였다. 북중국지괴와 한반도의 콜롬비아 초대륙 관련 조산운동은 매우 유사하여 한반도와 중국의 주요지괴들 간의 정확한 대비를 어렵게 하지만, 지질연대적 경향은 남립지괴, 경기지괴 동부, 영남지괴 동부를 포함하는 한반도의 북부와 동부 (Domain I & II)는 북중국 지괴와 유사하며, 경기지

괴 서부 및 영남지괴 서남부(Domain III & IV)는 신원생대 로디니아 초대륙 관련 호 및 열곡환경 심성암과 지질연대가 비슷한 암석들의 산출을 근거로 양쯔지괴 혹은 케세이아지괴와 대비하였다(그림 1b). 이와는 다르게 Zhai *et al.* (2005)과 Lee *et al.* (2014)은 경기지괴 양양지역의 라파키피암과 영남

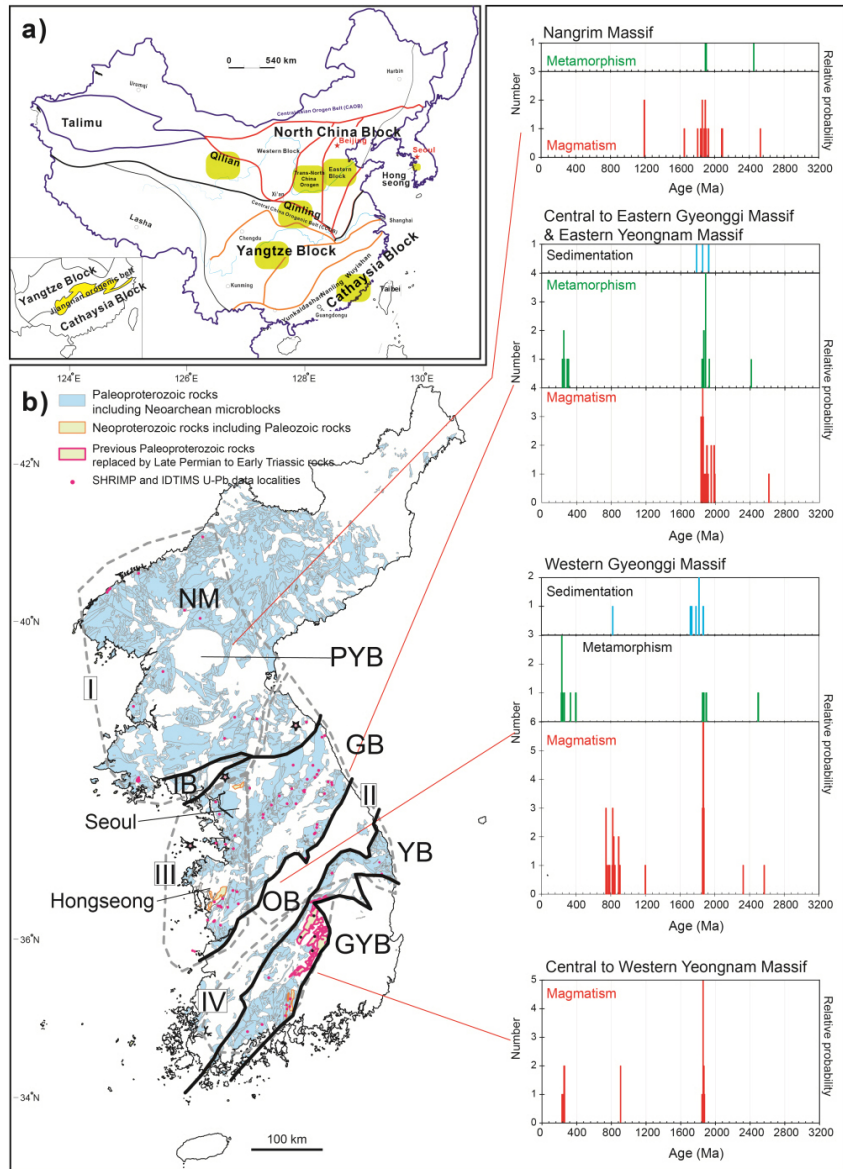


Fig. 1. (a) Tectonic map of Northeast Asia showing the distribution of the Precambrian cratons in China and the Korean Peninsula. (b) Distribution of the Precambrian rocks in a 1:1,000,000 tectonic map of the Korean Peninsula (KIGAM, 1995). Sample localities and histograms for the age results of the compiled U-Pb zircon age dating are also shown. NB, Nangnim block; GB, Gyeonggi block; IB, Imjingang belt; OB, Okcheon belt; YB, Yeongnam block; PYB, Pyeongnam basin; GYB, Gyeongsang basin (modified from Kim *et al.*, 2014b).

지괴 지리산지역의 차노카이트와 회장암 등, 일부 암석들의 산출양상과 지질연대가 북중국지괴에서 산출되는 동일 암석들과 대비된다는 가정 하에 낭림육괴를 포함한 한국의 경기 및 영남지괴를 북중국지괴로 해석하였다.

하지만 중국과 한반도의 주요 지괴들에서 콜롬비아 초대륙 진화를 지시하는 ~19-18억년의 지질연대가 광역적으로 관찰되고, 유사한 지화학 혹은 동위원소 특성을 가지는 암석의 산출양상은 중국과 한반도의 주요 지괴들 간의 대비를 어렵게 하는 요인으로 작용하고 있으며, 이에 대한 명확한 해결안이 아직 제시되지 못하고 있는 실정이다.

중국 및 한반도의 주요 지괴 간의 경계부(예; 중국의 친링-다비-수루대와 강남조산대, 한국의 임진강대와 옥천대)나 그 내부에 특징적으로 산출되는 고

생대 지층 또한 주요 지괴들 간의 지구조적 연계성 및 특성 대비 연구에 중요한 정보를 제공하고 있다. 경기지괴 서부지역은 초대륙 판게아의 집합(assembly)과 관련하여 고생대 대륙 연변부의 섭입-열-퇴적사를 주로 기록하고 있으며, 판게아 초대륙의 형성 후기 단계에서 퇴적된 것으로 해석되는 고생대 플리시 퇴적층인 태안층이 대상 분포하는 지구조적으로 매우 중요한 지역이다. 또한, 이들 지역에서는 중원생대를 포함한 신원생대 암석들도 소규모 암주상으로 대상 분포하고 있는 것이 보고되고 있다(Kee *et al.*, 2011; Choi *et al.*, 2014). 그러므로 한국의 경기지괴 서부 지역과 중국의 주요 지괴에 분포하는 신원생대, 고생대 지층들 간의 지구조적 연계성 및 특성 대비는 고원생대 암석의 대비 연구와 함께 필수적이라 할 수 있다.

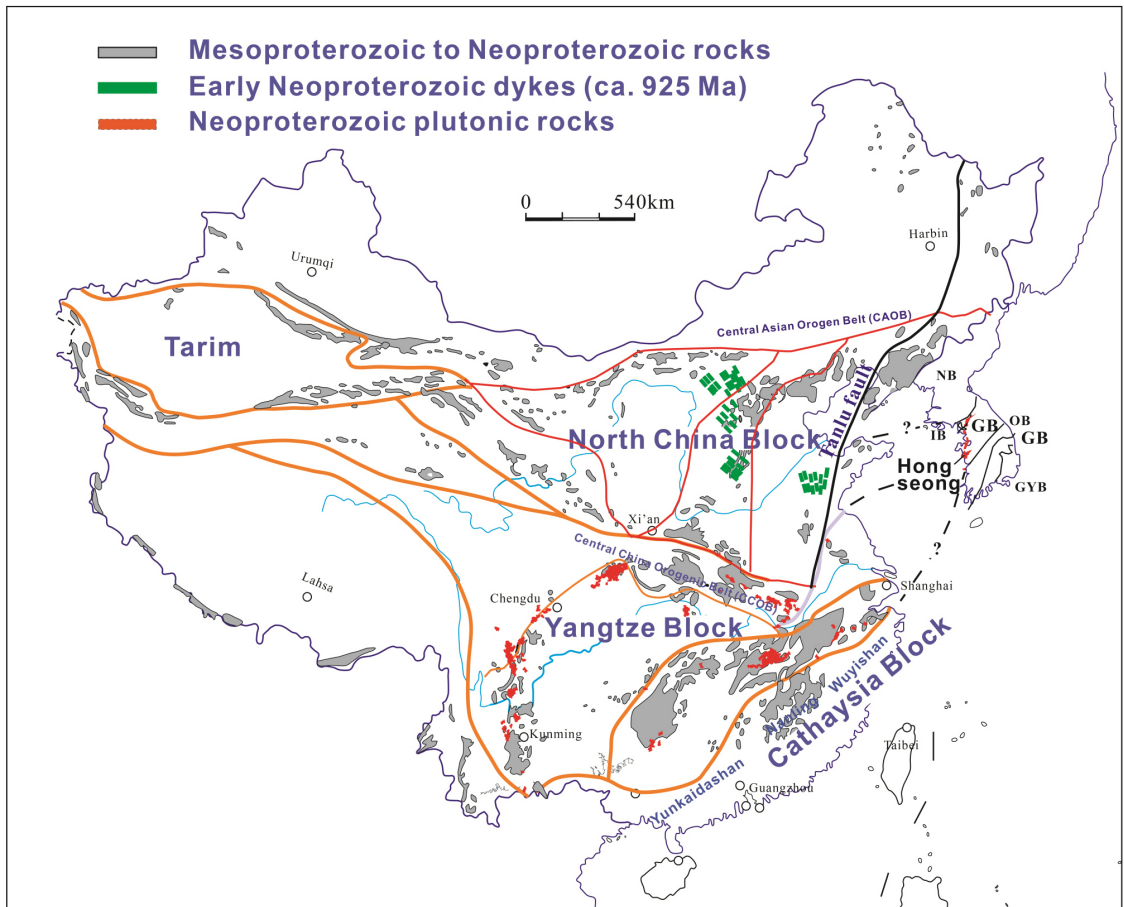


Fig. 2. Tectonic map of Northeast Asia showing the distribution of the Mesoproterozoic to Neoproterozoic rocks in China with Early Neoproterozoic dykes and Neoproterozoic plutonic rocks in China and the Korean Peninsula.

3. 지질연대학 자료에 대한 지구조 특성 대비

3.1 신원생대 로디니아 초대륙 관련 조산운동 지질 연대자료 비교

중국지괴들과 경기지괴 서부지역의 신원생대 로디니아 초대륙 관련 조산운동 지질연대자료들의 비교에 앞서, 중국의 중원생대 및 신원생대 암석의 분포(그림 2)를 알아보면, 북중국지괴에는 중원생대 퇴적암류(~1.7-1.0 Ga) 및 화산암류(~1.7-1.6 Ga Changcheng System, ~1.6-1.4 Ga Jixian System, ~1.4-1.0 Ga Xiamaling Formation)가 중앙부 및 북동부를 따라 대상으로 분포하며 이들 층군 내에 국소적으로 신원생대 퇴적암류 및 화산암류(~1.0-0.78 Ga Qingbaikou System, ~635-543 Ma Sinian System)가 산출 하는 것이 특징이며 일부 암석들은 북중국 지괴의 남쪽 경계를 따라 산출되기도 한다(e.g., Gao *et al.*, 2007a, 2007b, 2008a, 2008b, 2008c). 또한 북중국지괴의 중부와 동남부에는 신원생대 초기(ca. 920 Ma) 열곡환경과 관련된 북서-북북서 방향의 염기성 맥암류가

군집으로 산출된다(그림 2; Peng *et al.*, 2011). 남중국지괴에는 양쯔지괴의 서남부지역(운남성 서부 및 사천성 서부)에 중원생대 말기의 변성암류(1032 및 1028 Ma)가 산출되지만, 양쯔지괴와 케세이시아지괴 사이의 강남조산대(Jiangnan Orogenic Belt)을 중심으로는 약 10~6.3억년 퇴적암과 심성암이 주로 분포하며, ~780-635 Ma의 난후아계(Nanhuan System)에 속하는 퇴적암류 및 화산암류를 포함한다(그림 2). 특히 강남조산대에는 변성심성암류(~913-818 Ma)가 특징적으로 분포한다(Gao *et al.*, 2012 and references therein).

한편, 한반도에서의 중원생대 및 신원생대 암석은 북중국과 남중국지괴에 비해 상대적으로 드물게 분포한다. 중원생대 변성퇴적층은 경기지괴 중부 및 서부에서 소규모로 대상 분포하고 있는 것이 보고되고 있다(그림 2, 3; Kee *et al.*, 2011; Choi *et al.*, 2014). 신원생대의 변성 심성암류(~913-703 Ma)는 경기지괴 서부 연안과 고군산군도, 임진강대의 남부, 영남지괴의 지리산변성암복합체 등에 소규모 독립적인 암주상으로 분포하며, 신원생대 변성 화산암류(~800-760 Ma)는 옥천변성대의 북부 및 북서부에 국한되어 산출된다(그림 1b, 2; Lee *et al.*, 1998, 2003; Kim *et al.*, 2006a, 2006b, 2008, 2011b, 2011c, 2013, 2014b; Song, 2010; Kee *et al.*, 2011). 하지만 지리산 지역의 경우에는 신원생대 변성 화성암의 존재에 대해 좀 더 추가적인 확인이 필요하다(Lee *et al.*, 2014). 한편 한반도의 중앙부인 임진강대와 평남분지 사이엔 신원생대 후기 상원계가 분포하며 중국의 지나계(Sinian System)와 대비되는 것으로 추정된다.

중국과 한국의 신원생대 로디니아 초대륙 관련 지구조 사건을 서로 대비하기 위하여 남중국지괴 내 양쯔지괴, 케세이시아지괴, 강남조산대와 경기지괴 서부, 임진강대, 고군산군도 등의 지역에서 수집된 130 여개의 변성심성암 지질연대자료를 분석하였다(그림 4). 지질연대자료에 대한 분석 결과를 요약하면 북중국지괴에는 중원생대와 신원생대의 퇴적암과 일부 화산암이 다양하게 산출되지만 로디니아 초대륙 관련 섭입조산활동을 지시하는 변성심성암 혹은 심성암이 지역적으로 드물게 산출하는 반면에, 남중국지괴(양쯔지괴, 강남조산대, 케세이시아지괴)에는 로디니아 초대륙 봉합과 분열에 관련된 신원생대 변성심성암류, 퇴적암과 화성암이 다양하게 광역

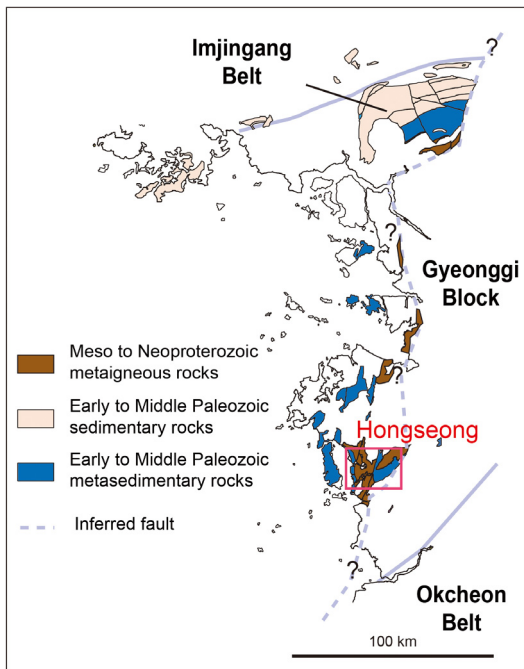


Fig. 3. Geologic map of the western Gyeonggi block showing the distribution of Neoproterozoic metaigneous rocks and Paleozoic (meta) sedimentary rocks (modified from Kim *et al.*, 2014a).

적으로 산출되는 것이 특징이다(e.g., Li, Z.X. *et al.*, 2002, 2003, 2006, 2008; Zhou *et al.*, 2002, 2006; Li, Z.X. *et al.*, 2003; Ling *et al.*, 2003; Wang and Li, 2003; Greentree *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2006; Wan *et al.*, 2007; Wu *et al.*, 2007; Xiao *et al.*, 2007; Ye *et al.*, 2007; Huang *et al.*, 2008; Zhao and Zhou, 2008; Wang, L.J. *et al.*, 2010; Wang, Q. *et al.*, 2010; Dong *et al.*, 2011b and references therein; Peng *et al.*, 2011; Shu *et al.*, 2011; Yao *et al.*, 2011, 2012; Gao *et al.*, 2012 and references therein). 경기지괴 서부일대의 신원생대의 변성심성암류도 유사한 로디니아 초대륙 봉합과 분열에 관련된(908~703 Ma) 지구조 활동을 보여주는 것으로 보고되고 있다(그림 4; Lee *et al.*, 2003; Kim *et al.*, 2008, 2011b, 2011c, 2013, 2014b, 2014c; Oh *et al.*, 2009; Song, 2010; Kwon *et al.*, 2013). 상기 연구결과들을 근거로 중국의 남중국지괴와 한국의 경기지괴 서부지역은 유사한 신원생대의 로디니아 봉합관련 섭입 후 분열 관

련 지구조사건을 점진적으로 경험했을 것으로 추정하고 있지만, 최근 경기지역 서부지역에서의 정밀 지질조사 결과(Kim *et al.*, 2014c)는 기존 지구조 해석과 다소 다른 해석을 대변한다. 현재까지의 경기지괴 서부지역 내 신원생대의 로디니아 섭입-관련 암석은 908에서 703 Ma까지의 연대분포를 보여주며, ~841-805 Ma 변성심성암은 남-북방향의 대상으로 광역적인 산출양상을 보여준다(그림 3, 4). 극히 일부 지역에서는 중원생대 말기 ~1200 Ma의 변성심성암이 포획암 형태로 산출되기도 한다. 반면, 로디니아 초대륙의 대륙분열과 관련되었을 것으로 추정되는 암석의 산출양상은 광역적이고 다양한 분열-관련 암석을 가지는 남중국지괴와는 달리 섭입-관련 암석 내에서 소규모이며, 독립적인 암주상으로 알칼리 화강암(~760-703 Ma)만이 산출되는 특징을 보여준다(Kim *et al.*, 2011b, 2013, 2014c). 이러한 알칼리 화강암만의 산출양상은 로디니아 초대륙 분열에 관련된 신원생대 변성심성암류-퇴적암-화산암이 광역적 대상 분포하는 남중국지괴의 대규모 지구조 사건과 대비 시킬 수 없을 것으로 판단된다. 그러므로 대륙 분열의 화학적 특징을 보여주는 ~760-703 Ma 알칼리화강암은 섭입의 정체기(stagnant) 혹은 종점을 지시하는 것으로 판단된다. 결과적으로 경기육괴 서부지역은 남중국지괴와는 달리 로디니아 초대륙 당시 대륙지괴의 연변부이며 908에서 703 Ma까지의 섭입-관련 지구조 사건만을 경험한 것으로 추정된다.

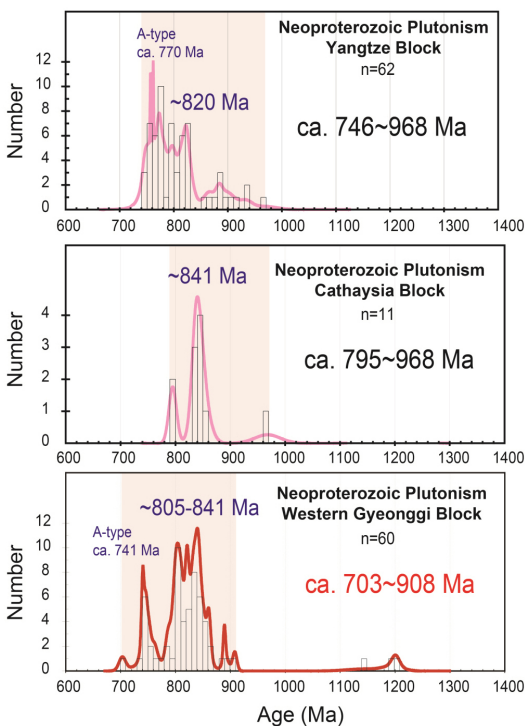


Fig. 4. Probability density diagrams of zircon U-Pb ages from representative Neoproterozoic plutonic rocks between the western marginal area of the Gyeonggi block in Korea and the Yangtze and Cathaysia blocks in China.

3.2 고생대 판게아 지질연대자료 비교

한국과 중국의 고생대 판게아 지질연대를 비교하기 위하여 경기지괴 서안(안면도-태안-서산-당진-영흥도-대부도-영종도)을 따라 남-북 방향으로 대상 분포하는 고생대 퇴적층인 태안층(그림 2; Cho, 2007; Cho *et al.*, 2010; Kee *et al.*, 2011; Choi *et al.*, 2014; Kim *et al.*, 2014a)과 중국의 주요 지괴(북중국, 양쯔, 케세이시아)들과 대륙충돌조산대(친리안-친링조산대)의 고생대 퇴적층(e.g., Shi *et al.*, 2009; Yang *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2010; Wan *et al.*, 2010; Wang, Y. *et al.*, 2010; Xu *et al.*, 2010a, 2010b; Dong *et al.*, 2013; Shi *et al.*, 2013 and references therein)에서 보고된 6000 여개의 퇴적쇄설성 저어콘에 대한 지질연대자료를 비교 검토하였다(그림 5). 또한 경기지괴 서남부의 홍성지역에서 최근에 보고된 고생대 초

-중기 광천 편마암의 퇴적쇄설성 저어콘 연대(Kim *et al.*, 2011a, 2014c)도 비교검토했었다. 광천 편마암은 홍성군 광천읍 남부에 위치하는 오서산 일대에 분포하며, 준편마암 단위, 염기성 변성화산암 단위, 변성돌러라이트 단위의 세 아단위로 구성된다(Kim *et al.*, 2014c). 퇴적쇄설성 저어콘 연대가 보고된 준편마암 단위는 주로 호상 구조, 혼성암 구조를 보이는 석류석-규선석 편마암과 흑운모 편마암으로 구성되며 흑운모 편암 역시 소규모로 분포한다. 준편마암 내 쇄설성 저어콘 핵에서 구해진 약 476 Ma의 가

장 젊은 U-Pb 연대(Kim *et al.*, 2011a)는 모암 연령의 상한을 제시하며, 쇄설성 저어콘의 과성장 연대로부터 약 441~403 Ma의 변성작용이 인지된다.

일반적으로 퇴적암 내 저어콘은 부수광물로 산출되며 퇴적쇄설성 저어콘의 U-Pb 지질연대는 퇴적암의 기원지 연구에 이용된다. 그리고 퇴적쇄설성 저어콘의 연대에 대한 상대확률분포경향은 퇴적암 기원지의 진화역사에 대한 중요한 정보를 제공한다. 또한 퇴적암 내 쇄설성 저어콘의 가장 젊은 연대는 퇴적 상한시기를 제한한다. 수집된 쇄설성 저어

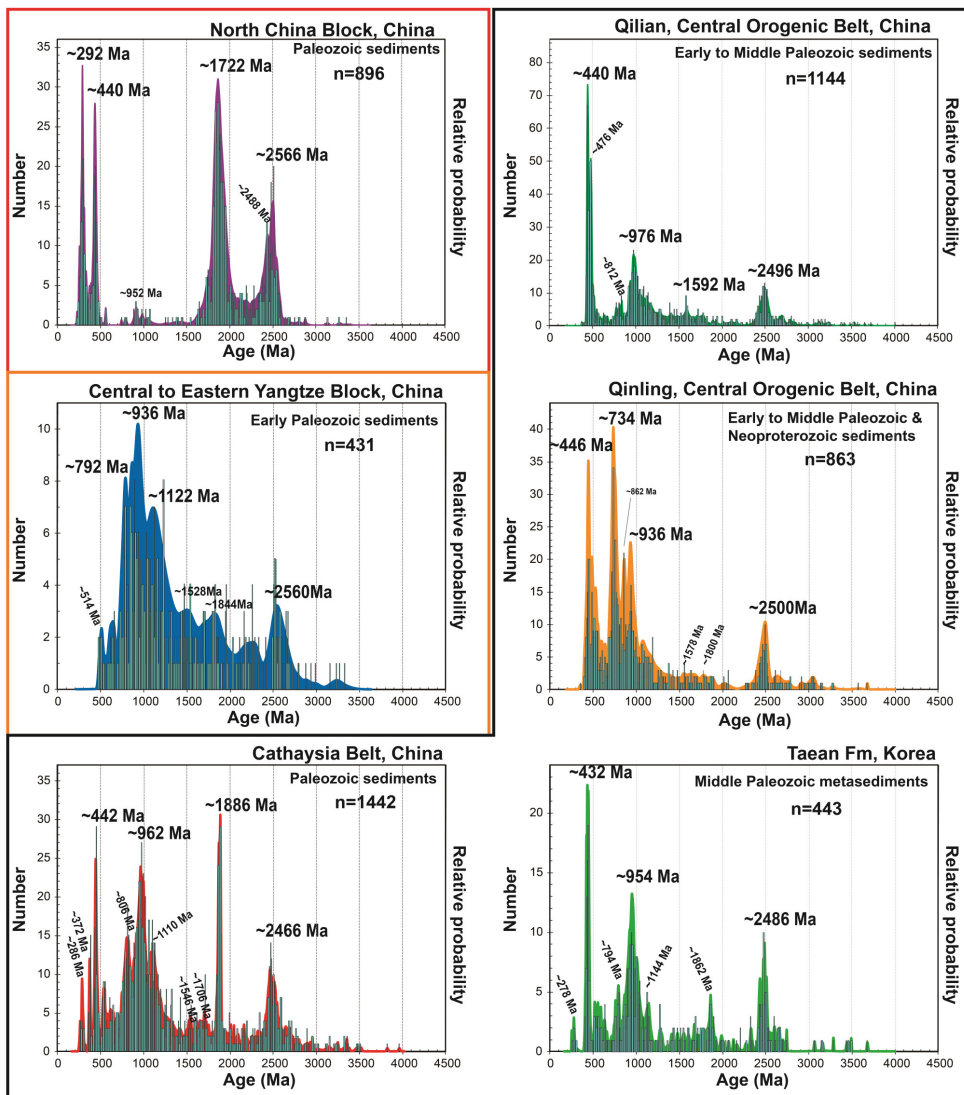


Fig. 5. Probability density diagrams of detrital zircons from representative Paleozoic sequence (Taeam Formation) in the western Gyeonggi block, and the Chinese continent.

콘 연대 중 1100 Ma보다 오래된 연대는 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 연대, 1100 Ma보다 젊은 연대는 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 연대를 선택하였으며, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 연대와 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 연대사이의 불일치비가 $\pm 10\%$ 이내의 자료를 사용하였다.

태안층의 변성사암 및 석회질 규산염암의 쇄설성 저어콘에 대한 약 650여개 SHRIMP 연대측정 결과는 다음과 같다. 저어콘 연대들의 전반적인 상대 확률 분포경향은 ~2486 Ma, ~954 Ma, ~432 Ma의 주요 연대집중군과 ~1862 Ma, ~1144 Ma, ~794 Ma, ~278 Ma의 부수적 연대분포등의 정보를 제공한다(그림 5). 태안층의 퇴적상한 연대는 약 402 Ma, 태안층을 관입한 화성암의 연대는 330Ma, 그리고 변성작용의 시기는 280 Ma로 각각 측정된 연대자료에 근거해 볼 때, 태안층은 약 402 Ma 이후 ~330 Ma 이전시기 동안 퇴적된 것으로 추정된다(Cho, 2007; Choi *et al.*, 2008, 2014; Cho *et al.*, 2010; Kee *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2014a). 하지만 태안층의 가장 하부 단위에서 산출되는 석회질 규산염암에서 인지되는 280 Ma의 변성시기 연대는 쇄설성 저어콘의 변성연대일 가능성을 배제할 수 없으므로 이들 암석에서 인지되는 약 280 Ma의 변성 과성장 연대에 대해서는 좀 더 추가적인 확인이 필요하다. 경기지괴 서남부 흥성지역 광천 혼성편마암의 퇴적쇄설성 저어콘은 두드러진 신원생대의 ~810 Ma의 주요 연대집중군과 함께 ~2630 Ma, ~1726 Ma, ~1156 Ma, ~658 Ma의 부수적 연대분포등의 정보를 제공한다(그림

6). 한편, 광천 혼성편마암의 과성장 누대 저어콘 연대는 혼성편마작용의 시기를 지시하는 고생대 중기인 ~418 Ma의 연대집중군을 보여준다(그림 6).

한편, 중국의 주요 지괴와 대륙충돌조산대의 고생대 퇴적층의 쇄설성 저어콘 연대들의 전반적인 상대 확률 분포경향은 북중국지괴에서 ~2566 Ma, ~1722 Ma, ~440 Ma, ~292 Ma의 주요 연대집중군, ~952 Ma의 부수적 연대분포, 남중국의 양쯔지괴에서 ~2566 Ma, 1122 Ma, ~936 Ma, ~792 Ma의 주요 연대집중군, ~1844 Ma, ~1528 Ma, ~514 Ma의 부수적 지질사건, 남중국의 케세이시아지괴에서 ~2466 Ma, ~1886 Ma, ~1120 Ma, ~962 Ma, ~806 Ma, ~442 Ma의 주요 연대집중군, ~1546 Ma, ~1546 Ma, ~372 Ma, ~286 Ma의 부수적 연대분포, 대륙충돌조산대인 친리안 조산대에서 ~2496 Ma, ~976 Ma, ~476 Ma, ~440 Ma의 주요 연대집중군, ~1592 Ma, ~812 Ma의 부수적 지질사건, 친링 조산대에서 ~2500 Ma, ~936Ma, ~734 Ma, ~530 Ma, ~446 Ma의 주요 연대집중군, ~1800 Ma, ~1578 Ma의 부수적 연대분포를 대변하는 집중연대 분포를 보여준다(그림 5).

상기한 경기지괴 서부지역에 분포하는 고생대 태안층, 광천편마암과 중국(북중국, 양쯔, 케세이시아지괴 및 친리안-친링조산대)의 고생대 지층으로부터 보고된 쇄설성 저어콘의 주요 연대집중군과 부수적 연대분포를 비교해 볼 때, 태안층과 광천편마암은 콜롬비아 초대륙과 관련된 시생대와 고원생대 암상이 우세하게 분포하는 북중국지괴보다는 로디니아 초대륙과 관련된 신원생대 암상이 우세한 남중국으로부터 기원한 것으로 추정된다. 또한 남중국의 고생대 지층으로부터 보고된 쇄설성 저어콘의 주요 연대집중군은 태안층과 대륙충돌조산대인 친리안-친링 조산대와 유사함을 알 수 있다.

결과적으로, 경기지괴 서부지역은 로디니아 초대륙 당시 대륙지괴의 연변부로 섭입과 판게아 초대륙의 형성 후기 단계에서 퇴적된 것으로 해석되는 고생대 플리시 퇴적층인 태안층이 대상 분포하는 조산대로 지구구조적으로 중국의 대륙충돌조산대와 대비가 가능하다.

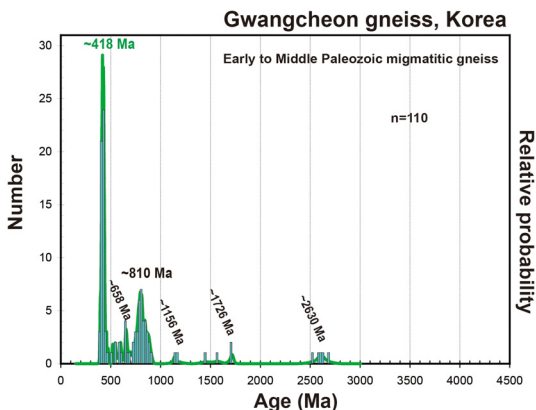


Fig. 6. Probability density diagrams of overgrowth and detrital zircons from Early to Middle Paleozoic migmatitic gneiss in the southwestern Gyeonggi block.

4. 결론

본 논평에서는 한국 경기지괴 서부지역과 중국의

주요지괴 및 지구조대에서 현재까지 보고된 신원생대 및 고생대 암석의 지질연대 자료를 수집 분석하여 가능한 지구조 대비를 수행하였다

- 1) 한반도와 중국의 주요 지괴들에서 보고된 고원생대 콜롬비아 초대륙 관련 지질연대는 매우 유사하여 한국과 중국의 지괴들 간의 명확한 차이는 나타나지 않는다. 고원생대의 지질연대 분포, 혹은 일부 특정암체의 산출양상에 근거한 한국과 중국의 지괴들 간의 대비는 아직 어려움이 있다.
- 2) 경기지괴 서부지역은 신원생대 ~908-703 Ma의 로디니아 초대륙 관련 변성심성암이 분포하며 로디니아 초대륙 봉합과 분열에 관련된 지구조 활동을 보여주는 것으로 보고되고 있으며 중국의 남중국지괴의 신원생대의 로디니아 봉합 관련 섭입 후 분열 관련 지구조사건과 대비되고 있다. 하지만, 최근 경기지괴 서부지역에서의 정밀 지질조사 결과는 ~841-805 Ma 변성심성암들이 남-북방향의 대상으로 광역적인 산출양상을 보여주며, 섭입-관련 암석 내에서 분열의 지화학 특징을 가지는 알칼리 화강암(~760-703 Ma)만이 소규모 독립적인 암주상으로 산출된다. 이러한 알칼리 화강암만의 산출양상은 로디니아 초대륙 분열에 관련된 신원생대 변성심성암류-퇴적암-화산암이 광역적 대상 분포하는 남중국지괴의 대규모 지구조 사건과 대비 시킬 수 없으며, 이들 암상은 섭입의 정체기 혹은 종점에 생성된 것으로 추정된다. 결과적으로 경기지괴 서부지역의 신원생대 암석은 점진적인 로디니아 초대륙 봉합과 분열을 경험한 남중국지괴와는 달리 로디니아 초대륙 당시 대륙지괴의 연변부에서 908 Ma에서 703 Ma까지의 섭입-관련 지구조 사건만을 경험한 것으로 추정된다.
- 3) 경기지괴 서부지역의 고생대 태안층, 광천편마암과 중국(북중국, 양쯔, 케세이시아 지괴 및 친리안-친링 조산대)의 고생대 지층으로부터 보고된 쇄설성 저어콘의 주요 연대집중군을 비교해 볼 때, 태안층의 퇴적기원지는 콜롬비아 초대륙과 관련된 시생대와 고원생대 암상이 우세하게 분포하는 북중국지괴보다는 로디니아 초

대륙과 관련된 신원생대 암상이 우세한 남중국으로부터 유래되었으며, 특히 대륙충돌조산대인 친리안-친링 조산대와 매우 유사함을 알 수 있다. 결과적으로, 경기지괴 서부지역은 로디니아 초대륙 당시 대륙지괴의 연변부로 섭입-관련 암상과 판게아 초대륙의 형성 후기 단계에서 퇴적된 것으로 해석되는 고생대 플리시 퇴적층인 태안층이 대상 분포하는 조산대로 지구조적으로 중국의 대륙충돌조산대와 대비될 수 있다.

사 사

이 논문은 한국지질자원연구원의 주요 사업인 ‘한반도 중서부의 층서지구조 규명 및 통합지질정보 시스템 구축(GP2015-005)’에 의해 지원되었다. 논문의 심사과정에서 유익한 조언을 해주신 편집위원님과 한국기초과학지원연구원 정창식 박사님과 익명 심사위원께 감사합니다.

REFERENCES

- Chang, E.Z., 1996, Collisional orogen between north and south China and its eastern extension in Korean Peninsula. *Journal of Southeast Asian Earth Science*, 13, 267-277.
- Chang, K.-H. and Zhao, X., 2012, North and South China suturing in the east end: what happened in Korean Peninsula? *Gondwana Research*, 22, 493-506.
- Cheong, C.S., Kwon, S.-T. and Park, K.-H., 2000, Pb and Nd isotopic constraints on Paleoproterozoic crustal evolution of the northern Yeongnam Block, South Korea. *Precambrian Research*, 19, 207-220.
- Cho, D.-L., 2007, SHRIMP zircon dating of a low-grade meta-sandstone from the Taean formation: provenance and its tectonic implications. *KIGAM Bulletin*, 11, 3-14 (in Korean with English abstract).
- Cho, M., Cheong, W., Earst, W.G., Yi, K. and Kim, J., 2013, SHRIMP U-Pb ages of detrital zircons in meta-sedimentary rocks of the central Ogcheon fold-thrust belt, Korea: Evidence for tectonic assembly of Paleozoic sedimentary protoliths. *Journal of Asian Earth Science*, 63, 234-249.
- Cho, M., Kim, Y. and Ahn, J., 2007, Metamorphic evolution of the Imjingang belt, Korea: Implications for

- Permo-Triassic collisional orogeny. *International Geology Review*, 49, 30-51.
- Cho, M., Na, J. and Yi, K., 2010, SHRIMP U-Pb ages of detrital zircons in metasediments of the Taean Formation, western Gyeonggi massif, Korea: Tectonic implications. *Geosciences Journal*, 14, 99-109.
- Choi, P.Y., Rhee, C.W., Lim, S.B. and So, Y., 2008, Subdivision of the Upper Paleozoic Taean Formation in the Anmyeondo-Boryeong area, west Korea: a preliminary approach to the sedimentary organization and structural features. *Geosciences Journal*, 12, 373-384.
- Choi, S.J., Kee, W.S., Koh, H.J., Kwon, C.W., Kim, B.C., Kim, S.W., Kim, Y.B., Khim, Y.H., Kim, H.C., Park, S.-I., Song, K.Y., Yeon, Y.K., Lee, S.S., Lee, S.R., Lee, Y.S., Lee, H.J., Cho, D.R., Choi, B.Y., Hwan, J.K., Hyeon, H.J., Hwang, J.H. and Lee, J.A., 2014, Tectonic evolution of the western Gyeonggi block and construction of geologic DB system. Basic Research Report of the Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 420 p (in Korean with English summary).
- Chough, S.K., Kwon, S.-T., Ree, J.-H. and Choi, D.K., 2000, Tectonic and sedimentary evolution of the Korean Peninsula: a review and new view. *Earth Science Review*, 52, 175-235.
- Dong, Y., Genser, J., Neubauer, F., Zhang, G., Liu, X., Yang, Z. and Heberer, B., 2011a, U-Pb and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronological constraints on the exhumation history of the North Qinling terrane, China. *Gondwana Research*, 19, 881-893.
- Dong, Y.P., Liu, X.M., Santosh, M., Zhang, X.N., Yang, C. and Yang, Z., 2011b, Neoproterozoic subduction tectonics of the northwestern Yangtze Block in South China: constraints from zircon U-Pb geochronology and geochemistry of mafic intrusions in the Hannan massif. *Precambrian Research*, 189, 66-99.
- Dong, Y., Liu, X., Neubauer, F., Zhang, G., Tao, N., Zhang, Y., Zhang, X. and Li, W., 2013, Timing of Paleozoic amalgamation between the North China and South China Blocks: Evidence from detrital zircon U-Pb ages. *Tectonophysics*, 586, 173-191.
- Dong, Y., Zhang, G., Hauzenberger, C. and Neubauer, F., 2011c, Paleozoic tectonics and evolutionary history of the Qinling orogen: Evidence from geochemistry and geochronology of ophiolite and related volcanic rocks. *Lithos*, 122, 39-56.
- Dong, Y., Zhang, G., Neubauer, F., Liu, X., Hauzenberger, C., Zhou, D. and Li, W., 2011d, Syn- and post-collisional granitoids in the Central Tianshan orogen: Geochemistry, geochronology and implications for tectonic evolution. *Gondwana Research*, 20, 568-581.
- Dong, Y., Zhang, G., Neubauer, F., Liu, X., Genser, J. and Hauzenberger, C., 2011e, Tectonic evolution of the Qinling orogen, China: Review and synthesis. *Journal of Asian Earth Sciences*, 41, 213-237.
- Ernst, W.G. and Liou, J.G., 1995, Contrasting plate-tectonic styles of the Qinling-Dabie-Sulu and Franciscan metamorphic belts. *Geology*, 23, 353-356.
- Gao, L., Zhang, C., Shi, X., Zhou, H. and Wang, Z., 2007a, Zircon SHRIMP dating of the ash bed from Xiamaling Formation, Qingbaikou Group in North China. *Geological Bulletin of China*, 26, 249-255 (in Chinese with English abstract).
- Gao, L., Zhang, C., Shi, X., Zhou, H., Wang, Z. and Song, B., 2007b, A new SHRIMP age of the Xiamaling Formation, Qingbaikou Group in North China Plate and its geological significance. *Acta Geologica Sinica*, 81, 1103-1109 (in English with Chinese abstract).
- Gao, L., Zhang, C., Yin, C., Shi, X., Wang, Z., Liu, Y., Liu, P., Tang, F. and Song, B., 2008a, SHRIMP U-Pb zircon ages: Basis for refining the chronostratigraphic classification of the Meso- and Neoproterozoic strata in North China old land. *Acta Geoscientia Sinica*, 29, 366-376 (in Chinese with English abstract).
- Gao, L., Zhang, C., Shi, X., Song, B., Wang, Z., Liu, Y., 2008b, SHRIMP U-Pb zircon dating of tuff in the Shuangqiaoshan and Heshangzhen groups in South China-constraints on the evolution of the Jiangnan Neoproterozoic orogenic belt. *Geological Bulletin of China*, 27, 1744-1758 (in Chinese with English abstract).
- Gao, L., Zhang, C., Shi, X., Song, B., Wang, Z. and Liu, Y., 2008c, Mesoproterozoic age for Xiamaling Formation in North China Plate indicated by zircon SHRIMP U-Pb dating. *Chinese Science Bulletin*, 53, 2665-2671.
- Gao, L., Ding, X., Zhang, C., Chen, J., Liu, Y., Zhang, H., Liu, X. and Pang, W., 2012, Revised chronostratigraphic framework of the metamorphic strata in the Jiangnan orogenic belt, South China and its tectonic implications. *Acta Geologica Sinica*, 86, 339-349.
- Greentree, M.R., Li, Z.X., Li, X.H. and Wu, H.C., 2006, Late Mesoproterozoic to earliest Neoproterozoic ba-

- sin record of the Sibao orogenesis in western South China and relationship to the assembly of Rodinia. *Precambrian Research*, 151, 79-100.
- Huang, X.-L., Xu, Y.-G., Li, X.-H., Li, W.-X., Lan, J.-B., Zhang, H.-H., Liu, Y.-S., Wang, Y.-B., Li, H.-Y., Luo, Z.-Y. and Yang, Q.-J., 2008, Petrogenesis and tectonic implications of Neoproterozoic, highly fractionated A-type granites from Mianning, South China. *Precambrian Research*, 2008, 190-204.
- Kee, W.S., Koh, H.J., Kim, S.W., Kim, Y.B., Khim, Y.H., Kim, H.C., Park, S.-I., Song, K.Y., Lee, S.R., Lee, Y.S., Lee, H.J., Cho, D.R., Choi, B.Y., Choi, S.J. and Hwang, J.H., 2011, Tectonic evolution of the upper crustal units in the mid-western part of the Korean peninsula. Basic Research Report of the Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 242 p (in Korean with English summary).
- Kim, S.W., Kee, W.-S., Lee, S.R., Santosh, M. and Kwon, S., 2013, Neoproterozoic plutonic rocks from the western Gyeonggi massif, South Korea: Implications for the amalgamation and break-up of the Rodinia supercontinent. *Precambrian Research*, 227, 349-367.
- Kim, S.W., Kwon, S., Koh, H.J., Yi, K., Jeong, Y. and Santosh, M., 2011c, Geotectonic framework of Permo-Triassic magmatism within the Korean Peninsula. *Gondwana Research*, 20, 865-889.
- Kim, S.W., Kwon, S., Santosh, M., Williams, I.S. and Yi, K., 2014a, Detrital zircon U-Pb geochronology and tectonic implications of the Paleozoic sequences in western South Korea. *Journal of Asian Earth Sciences*, 95, 217-227.
- Kim, S.W., Kwon, S., Santosh, M., Williams, I.S. and Yi, K., 2011a, A Paleozoic subduction complex in Korea: SHRIMP zircon U-Pb ages and tectonic implications. *Gondwana Research*, 20, 890-903.
- Kim, S.W., Kwon, S., Yi, K. and Santosh, M., 2014b, Arc magmatism in the Yeongnam Massif, Korean Peninsula: Imprints of Columbia and Rodinia supercontinents. *Gondwana Research*, 26, 1009-1027.
- Kim, S.W., Oh, C.W., Ryu, I.-C., Williams, I.S., Sajeev, K., Santosh, M. and Rajesh, V.J., 2006a, Geochemical and geochronological characteristics of Neoproterozoic bimodal volcanic rocks of the Okcheon Belt, South Korea and their implications for rifting in Rodinia. *Journal of Geology*, 114, 717-733.
- Kim, S.W., Oh, C.W., Williams, I.S., Rubbato, D., Ryu, I.-C., Rajesh, V.J., Kim, C.-B., Guo, J. and Zhai, M., 2006b, Phanerozoic high-pressure eclogite and intermediate-pressure granulite facies metamorphism in the Gyeonggi block, South Korea: implications for the eastward extension of the Dabie-Sulu continental collision zone. *Lithos*, 92, 357-377.
- Kim, S.W., Park, S.-I., Ko, K., Lee, H.-J., Koh, H.J., Kihm, Y.H. and Lee, S.R., 2014c, 1:100,000 Tectonostratigraphic map of the Hongseong area, map 1 : solid geology interpretation. Korea Institution of Geoscience and Mineral Resources.
- Kim, S.W., Santosh, M., Park, N. and Kwon, S., 2011b, Forearc serpentinite mélangé from the Hongseong suture, South Korea. *Gondwana Research*, 20, 852-864.
- Kim, S.W., Williams, I.S., Kwon, S. and Oh, C.W., 2008, SHRIMP zircon geochronology and geochemical characteristics of metaplutonic rocks from the south-western Gyeonggi block, Korea: implications for Paleoproterozoic to Mesozoic tectonic links between the Korean Peninsula and eastern China. *Precambrian Research*, 162, 475-497.
- Kwon, S., Kim, S.W. and Santosh, M., 2013, Multiple generations of mafic-ultramafic rocks from the Hongseong suture zone, western South Korea: Implications for the geodynamic evolution of NE Asia. *Lithos*, 160-161, 68-83.
- Kwon, S., Sajeev, K., Mitra, G., Park, Y., Kim, S.W. and Ryu, I.-C., 2009, Evidence for Permo-Triassic collision in Far East Asia: The Korean collisional orogen. *Earth and Planetary Science Letters*, 279, 340-349.
- 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, S.R. and Cho, M., 2003, Metamorphic and tectonic evolution of the Hwacheon granulite complex, central Korea: composite P-T path resulting from two distinct crustal-thickening events. *Journal of Petrology*, 44, 197-225.
- Lee, S.R., Cho, M., Cheong, C.-S., Kim, H. and Wingate, M.T.D., 2003, Age, geochemistry and tectonic significance of Neoproterozoic alkaline granitoids in the northwestern margin of the Gyeonggi massif, South Korea. *Precambrian Research*, 122, 297-310.
- Lee, Y., Cho, M., Cheong, W. and Yi, K., 2014, A massif-type (~1.86 Ga) anorthosite complex in the Yeongnam Massif, Korea: late-orogenic emplacement associated with the mantle delamination in the

- North China Craton. *Terra Nova*, 26, 408-416.
- Li, H.Y., He, B., Xu, Y.G. and Huang, X.L., 2010, U-Pb and Hf isotope analyses of detrital zircons from Late Paleozoic sediments: insights into interactions of the North China Craton with surrounding plates. *Journal of Asian Earth Sciences*, 39, 335-346.
- Li, X.H., Li, W.X., Li, Z.X. and Liu, Y., 2008, 850-790 Ma bimodal volcanic and intrusive rocks in northern Zhejiang, South China: a major episode of continental rift magmatism during the breakup of Rodinia. *Lithos*, 102, 341-357.
- Li, X.H., Li, Z.X., Ge, W., Zhou, H., Li, W., Liu, Y. and Wingate, M.T.D., 2003, Neoproterozoic granitoids in South China: crustal melting above a mantle plume at 825 Ma? *Precambrian Research*, 122, 45-83.
- Li, X.-H., Li, Z.-X., Sinclair, J.A., Li, W.-X. and Carter, G., 2006, Revisiting the "Yanbian Terrane": implications for Neoproterozoic tectonic evolution of the western Yangtze Block, South China. *Precambrian Research*, 151, 14-30.
- Li, X.H., Li, Z.X., Zhou, H., Liu, Y. and Kinny, P.D., 2002, U-Pb zircon geochronology, geochemistry and Nd isotopic study of Neoproterozoic bimodal volcanic rocks in the Kangdian Rift of South China: implications for the initial rifting of Rodinia. *Precambrian Research*, 113, 135-155.
- Li, Z.X., Li, X.H., Kinny, P.D., Wang, J., Zhang, S. and Zhou, H., 2003, Geochronology of Neoproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze Craton, South China and correlations with other continents: evidence for a mantle superplume that broke up Rodinia. *Precambrian Research*, 122, 85-109.
- Ling, W., Gao, S., Zhang, B., Li, H., Liu, Y. and Cheng, J., 2003, Neoproterozoic tectonic evolution of the northwestern Yangtze craton, South China: implications for amalgamation and break-up of the Rodinia Supercontinent. *Precambrian Research*, 122, 111-140.
- Metcalf, I., 2006, Palaeozoic and Mesozoic tectonic evolution and palaeogeography of East Asian crustal fragments: The Korean Peninsula in context. *Gondwana Research*, 9, 24-46.
- Oh, C.W., 2006, A new concept on tectonic correlation between Korea, China, and Japan: Histories from the Late Proterozoic to Cretaceous. *Gondwana Research*, 9, 47-61.
- Oh, C.W., Choi, S.G., Seo, J., Rajesh, V.J., Lee, J.H., Zhai, M. and Peng, P., 2009, Neoproterozoic tectonic evolution of the Hongseong area, southwestern Gyeonggi Massif, South Korea; implication for the tectonic evolution of Northeast Asia. *Gondwana Research*, 16, 272-284.
- Oh, C.W., Kim, S.W., Choi, S.G., Zhai, M., Guo, J. and Sajeev, K., 2005, First finding of eclogite facies metamorphic event in South Korea and its correlation with the Dabie-Sulu collision belt in China. *Journal of Geology*, 113, 226-232.
- Peng, P., Bleeker, W., Ernst, R.E., Söderlund, U. and McNicoll, V., 2011, U-Pb baddeleyite ages, distribution and geochemistry of 925 Ma mafic dykes and 900 Ma sills in the North China craton: Evidence for a Neoproterozoic mantle plume. *Lithos*, 127, 210-221.
- Ree, J.H., Cho, M., Kwon, S.T. and Nakamura, E., 1996, Possible eastward extension of Chinese collision belt in South-Korea: the Imjingang belt. *Geology*, 24, 1071-1074.
- Sagong, H., Cheong, C.-S. and Kwon, S.-T., 2003, Paleoproterozoic orogeny in South Korea: evidence from Sm-Nd and Pb step-leaching garnet ages of Precambrian basement rocks. *Precambrian Research*, 122, 1-21.
- Santosh, M., 2010, Assembling North China Craton within the Columbia supercontinent: The role of double-sided subduction. *Precambrian Research*, 178, 149-167.
- Shi, Y., Yu, J.H. and Santoshi, M., 2013, Tectonic evolution of the Qinling orogenic belt, Central China: New evidence from geochemical, zircon U-Pb geochronology and Hf isotopes. *Precambrian Research*, 231, 19-60.
- Shi, Y., Yu, J.H., Xu, X.S., Qiu, J.S. and Chen, L.H., 2009, Geochronology and geochemistry of the Qinling Group in the eastern Qinling Orogen. *Acta Petrologica Sinica*, 25, 2651-2670 (in Chinese with English abstract).
- Shu, L.-S., Faure, M., Yu, J.-H. and Jahn, B.-M., 2011, Geochronological and geochemical features of the Cathaysia block (South China): New evidence for the Neoproterozoic breakup of Rodinia. *Precambrian Research*, 122, 263-276.
- Song, Y.-S., 2010, SHRIMP U-Pb age for Neoproterozoic magmatism in the western margin of Gyeonggi Massif and its tectonic implications. *Proceedings of 2010 International Joint Symposium between NIRE, CERi (Japan) and IEGS (Korea)*, p.151-156.

- Wan, Y.S., Liu, D.Y., Wilde, S.A., Cao, J., Chen, B., Dong, C., Song, B. and Du, L., 2010, Evolution of the Yunkai Terrane, South China: Evidence from SHRIMP zircon U-Pb dating, geochemistry and Nd isotope. *Journal of Asian Earth Sciences*, 37, 140-153.
- Wan, Y.S., Liu, D.Y., Xu, M.H., Zhuang, J.M., Song, B., Shi, Y.R. and Du, L.L., 2007, SHRIMP U-Pb zircon geochronology and geochemistry of metavolcanic and metasedimentary rocks in Northwestern Fujian, Cathaysia Block, China: tectonic implications and the need to redefine lithostratigraphic units. *Gondwana Research*, 12, 166-183.
- Wang, J. and Li, Z.X., 2003, History of Neoproterozoic rift basins in South China: implications for Rodinia breakup. *Precambrian Research*, 122, 141-158.
- Wang, L.J., Griffin, W.L., Yu, J.H. and O'Reilly, S.Y., 2010, Precambrian crustal evolution of the Yangtze block tracked by detrital zircons from Neoproterozoic sedimentary rocks. *Precambrian Research*, 177, 131-144.
- Wang, Q., Wyman, D.A., Li, Z.-X., Bao, Z.-W., Zhao, Z.-H., Wang, Y.-X., Jian, P., Yang, Y.-H. and Chen, L.-L., 2010, Petrology, geochronology and geochemistry of ca. 780Ma A-type granites in South China: Petrogenesis and implications for crustal growth during the breakup of the supercontinent Rodinia. *Precambrian Research*, 178, 185-208.
- Wang, X.L., Zhou, J.C., Qiu, J.S., Zhang, W.L., Liu, X.M. and Zhang, G.L., 2006, LA-ICP-MS U-Pb zircon geochronology of the Neoproterozoic igneous rocks from Northern Guangxi, South China: Implications for tectonic evolution. *Precambrian Research*, 145, 111-130.
- Wang, Y., Zhang, F., Fan, W., Chen, S., Cawood, P.A. and Zhang, A., 2010, Tectonic setting of the South China Block in the early Paleozoic: Resolving intra-continental and ocean closure models from detrital zircon U-Pb geochronology. *Tectonics*, 29, TC6020, doi:10.1029/2010TC002750.
- Williams, I.S., Cho, D.-L. and Kim, S.W., 2009, Geochronology, and geochemical and Nd-Sr isotopic characteristics, of Triassic plutonic rocks in the Gyeonggi Massif, South Korea: Constraints on Triassic post-collisional magmatism. *Lithos*, 107, 239-256.
- Wu, Y.B., Zheng, Y.F., Tang, J., Gong, B., Zhao, Z.F. and Liu, X., 2007, Zircon U-Pb dating of water-rock interaction during Neoproterozoic rift magmatism in South China. *Chemical Geology*, 246, 65-86.
- Xiao, L., Zhang, H.-F., Ni, P.-Z., Xiang, H. and Liu, X.-M., 2007, LA-ICP-MS U-Pb zircon geochronology of early Neoproterozoic mafic-intermediate intrusions from NW margin of the Yangtze Block, South China: Implication for tectonic evolution. *Precambrian Research*, 154, 221-235.
- Xu, Y.J., Du, Y.S., Cawood, P.A. and Yang, J.H., 2010a, Provenance record of a foreland basin: Detrital zircon U-Pb ages from Devonian strata in the North Qilian Orogenic Belt, China. *Tectonophysics*, 495, 337-347.
- Xu, Y.J., Du, Y.S., Cawood, P.A. and Yang, J.H., 2010b, Detrital zircon record of continental collision: assembly of the Qilian Orogen, China. *Sedimentary Geology*, 230, 35-45.
- Yang, J.H., Du, Y.S., Cawood, P.A. and Xu, Y.J., 2009, Silurian collisional suturing onto the southern margin of the North China Craton: detrital zircon geochronology constraints from the Qilian Orogen. *Sedimentary Geology*, 220, 95-104.
- Yang, J., Liu, F., Wu, C., Xu, Z., Shi, R. and Chen, S., 2005, Two ultrahigh-pressure metamorphic events recognized in the central orogenic belt of China: evidence from the U-Pb dating of coesite-bearing zircons. *International Geology Review*, 47, 327-343.
- Yao, J., Shu, L. and Santosh, M., 2011, Detrital zircon U-Pb geochronology, Hf-isotopes and geochemistry: New clues for the Precambrian crustal evolution of Cathaysia Block, South China. *Gondwana Research*, 20, 553-567.
- Yao, J., Shu, L., Santosh, M. and Li, J., 2012, Precambrian crustal evolution of the South China Block and its relation to supercontinent history: Constraints from U-Pb ages, Lu-Hf isotopes and REE geochemistry of zircons from sandstones and granodiorite. *Precambrian Research*, 208-211, 19-48.
- Ye, M., Li, X., Li, W., Liu, Y. and Li, Z., 2007, SHRIMP zircon U-Pb geochronological and whole rock geochemical evidence for an early Neoproterozoic Sibaoan magmatic arc along the southeastern margin of the Yangtze Block. *Gondwana Research*, 12, 144-156.
- Yin, A. and Nie, S., 1993, An indentation model for the North and South China collision and the development of the Tan-Lu and Honam Fault Systems, eastern Asia. *Tectonics*, 12, 810-813.
- Zhai, M. and Liu, W., 1998, The boundary between

- Sino-Korea Craton and Yangtze Craton and its extension to the Korean Peninsula. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 7, 15-26.
- Zhai, M.G. and Cong, B.L., 1996, Petrotectonics of Sulu-Dabieshan metamorphic belt, central and east China. *Sciences in China (Series D)*, 39, 3, 319-320.
- Zhai, M., Ni, Z., Oh, C.W., Guo, J. and Choi, S.G., 2005, SHRIMP zircon age of a Proterozoic rapakivi granite batholith in the Gyeonggi Block (South Korea) and its geological implications. *Geological Magazine*, 142, 23-30.
- Zhai, M.G. and Santosh, M., 2011, The early Precambrian odyssey of the North China Craton: A synoptic overview. *Gondwana Research*, 20, 6-25.
- Zhai, M.G., Santosh, M. and Zhang, L., 2011, Precambrian geology and tectonic evolution of the North China Craton. *Gondwana Research*, 20, 1-5.
- Zhang, R.Y., Liou, J.G. and Ernst, W.G., 2009, The Dabie-Sulu continental collision zone: a comprehensive review. *Gondwana Research*, 16, 1-26.
- Zhao, G.C., Sun, M., Wilde, S.A. and Li, S.Z., 2005, Late Archean to Paleoproterozoic evolution of the North China Craton: key issues revisited. *Precambrian Research*, 136, 177-202.
- Zhao, J.-H. and Zhou, M.-F., 2008, Melting of newly formed mafic crust for the formation of neoproterozoic I-type granite in the Hannan region, South China. *Journal of Geology*, 117, 54-70.
- Zhou, M.F., Kennedy, A.K., Sun, M., Malpas, J. and Leshner, C.M., 2002, Neoproterozoic arc-related mafic intrusions along the northern margin of South China: implications for the accretion of Rodinia. *Journal of Geology*, 110, 611-618.
- Zhou, M.F., Ma, Y., Yan, D.P., Xia, X., Zhao, J.H. and Sun, M., 2006, The Yanbian Terrane (Southern Sichuan Province, SW China): a Neoproterozoic arc assemblage in the western margin of the Yangtze Block. *Precambrian Research*, 144, 19-38.

Received : July 15, 2015

Revised : August 21, 2015

Accepted : August 31, 2015