홍성지역 월현리 복합체 내에 분포하는 트라이아스기 심성암류의 지질연대학 및 지구화학적 연구

오재호¹ · 김성원^{2*}

¹한국지질자원연구원 석유해저연구본부, ²한국지질자원연구원 국토지질연구본부

Geochronological and Geochemical Studies for Triassic Plutons from the Wolhyeonri Complex in the Hongseong Area, Korea

Jae-Ho Oh¹ and Sung Won Kim^{2*}

¹Petroleum and Marine Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea

²Geological Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea

The Hongseong area of the southwestern Gyeonggi massif is considered to be part of suture zone that is tectonically correlated with the Qinling-Dabie-Sulu belt of China in terms of the preservation of collisional evidences during Triassic in age. The Wolhyeonri complex, preserved at the center of the Hongseong area, consists mainly of Neoproterozoic orthogneisses and Middle Paleozoic intermediate- to high-grade metamorphic schists, orthogneisses and mafic metavolcanics. The area includes various Middle to Late Triassic intrusives (e.g. dyke or stock). They are mainly monzonite and aplite with small intrusions of monzodiorite, syenite and diorite in composition. The SHRIMP U-Pb zircon ages yield 237 Ma to 222 Ma. The geochemistry of the studied Triassic intrusives show similar subduction- or arc-type signatures having Ta-Nb troughs, depletion of P and Ti, and enrichment of LILEs (large ion lithophile elements). In addition, the Triassic plutons in the Hongseong area, including those from this study, mostly possess high-K calc-alkaline to shoshonitic tectonic affinity. These results could be tectonically correlated to the post-collisional magmatic event following the Triassic collision between the North and South China blocks in China. Therefore, the Triassic plutons in the Hongseong area offer an important insight into the Triassic geodynamic history of the NE Asian region.

Key words : Hongseong area, Wolhyeonri complex, Triassic pluton, post-collisional magmatic event, Triassic collision

한국 경기육괴의 서남부 홍성지역은 지구조적으로 중국의 친링-다비에-수루대와 비교 연장되는 봉합대의 하나로 고려된다. 홍성지역의 중앙부에 위치하는 월현리복합체는 주로 신원생대의 편마암과 고생대 중기의 중-고변성의 편암, 정편마암과 변성염기성화산암으로 주로 구성된다. 이 지역은 트라이아스기 중기에서 말기까지의 암맥상 혹은 암주상의 다양한 관입암이 분포한다. 주 암상은 몬조니암과 반화강암으로 구성되며 부수적으로 소규모 암주상의 몬조섬록암, 섬장암과 섬록암 등이 산출된다. 연구지역 심성암에 대한 SHRIMP U-Pb 저어론 연대결과는 237 Ma부터 222 Ma의 범위를 보여준다. 연구대상 트라이아스기 심성암은 Ta - Nb의 골, P와 Ti의 결핍과 저장력 원소들이 부화된 경향을 가지는 섭입형 혹은 호상형과 유사한 지화학적 특징을 보여준다. 연구지역 트라이아스기 심성암과 홍성지역의 주 트라이아스기 심성암인 화강암-섬장암은 대부분 칼륨 함량이 높은 고칼륨 켈크-알칼라인에서 쇼쇼나이트까지의 지구조 특징을 가진다. 이들 결과들은 중국의 북중국판과 남중국판의 트라이아스기 충돌이후 생성된 후충돌형 마그마 사건의 지구조적 연결을 가능하게 한다. 결과적으로 홍성지역의 트라이아스기 심성암은 동북아시아의 지구조동력 역사 내 트라이아스기 봉합의 중요한 이해를 제공하여준다.

주요어 : 홍성지역, 월현리 복합체, 트라이아스기 심성암, 후충돌형 마그마 사건, 트라이아스기 충돌

*Corresponding author: sungwon@kigam.re.kr

1. 서 언

남한에서 트라이아스기 심성암류(240~220 Ma)는 쥐라기 심성암류에 비해 산출양상과 산출규모에 의해서 저반보다는 압주상의 양상을 보이며 임진강대, 경기육괴, 옥천대, 영남육괴 및 경상분지에 간헐적으로 분포한다(Fig. 1; Lee *et al.*, 2006; Peng *et al.*, 2008; Cho *et al.*, 2008; Williams *et al.*, 2009; Choi *et al.*, 2009; Seo *et al.*, 2010; S.W. Kim *et al.*, 2011; J. Kim *et al.*, 2011; Kihm and Hwang, 2011; Song *et al.*, 2011; Kee *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2012). 하지만 남한에 분포하는 트라이아스기 심성암류는 한반도, 중국 및 일본을 포함하는 동북아시아의 지질 및 지구조 진화 대비 연구에 중요한 현안으로 부각되고 있다(Sagong *et al.*, 2005; Cho *et al.*, 2008; Choi *et al.*, 2009; Williams *et al.*, 2009; Seo *et al.*, 2010; S.W. Kim *et al.*, 2011; Kim J. *et al.*, 2011; Oh, 2012; Cheong and Kim, 2012). 이들 트라이아스기 화성활동과 밀접한 조산운동을 “송림변동” 혹은 “송림조산운동(인도시안조산운동)”으로 구분하고 있다(Kim, 1996; Chough *et al.*, 2000; Sagong *et al.*, 2005; Cho *et al.*, 2008; Williams *et al.*, 2009). 트라이아스기 심성암류에 대한 암석학 지화학 및 지질연대 연구결과들에 의하면 임진강대, 경기육괴, 옥천대 내에 분포하는 트라이아스기 심성암류는 남중국판과 북중국판의 대륙충돌 이후 생성된 후충돌형(post-collisional type) 화성활동, 영남육괴 및 경상분지의 트라이아스기 심성암류는 고기 해양판이 대륙연변부에 섭입과정과 연관된 섭입형(subduction type) 화성활동으로 해석되고 있다(Kim *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2011; Oh, 2012; Cheong and Kim, 2012).

연구지역인 경기육괴 서남부 홍성 지역은 국내 최초로 트라이아스기 대륙충돌의 증거암인 에클로자이트(ca. 231 Ma)가 보고(Oh *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2006; Zhai *et al.*, 2007)됨에도 불구하고, 충돌대의 지구조적인 구조선과 이들 지역에서의 에클로자이트의 산출회귀성에 의해 아직까지 논란이 부각되면서 국내 여러 지질학자들에 의해 활발히 토의되고 있다. 하지만 전술한 문제점들에 비해 홍성 지역은 또 다른 트라이아스기 대륙충돌의 증거를 뒷받침할 수 있는 트라이아스기 중기 후충돌형(post-collisional type) 화성활동이 광역적으로 나타나고 있다(Choi *et al.*, 2009; Williams *et al.*, 2009; Seo *et al.*, 2010; Kee *et al.*, 2011; S.W. Kim *et al.*, 2011). 한편, 본문에서 홍성지역에서

보고되는 트라이아스기 중기 후충돌형 화강암류 연대(235~226 Ma)는 최근 2013년도 개정된 국제연대층서표(International Chronostratigraphic Chart; Cohen *et al.*, 2013)에 의해 트라이아스기 후기에 해당한다.

본 연구에서는 홍성지역 월현리 복합체 내 홍성-광천-청소지역에 산출되는 관입상 혹은 압주상의 트라이아스기 심성암류의 암석학적 기재, 지구화학 및 지질연대 연구를 실시하여 생성시의 지구조 환경을 유추하였다. 또한 연구결과들을 지금까지 보고된 홍성지역의 후충돌형 트라이아스기 후기 화강암류의 지구조 환경(Choi *et al.*, 2009; Williams *et al.*, 2009; Seo *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2011)과 비교 분석하였다.

2. 지질 개요

서부 경기육괴 홍성군, 청양군 및 보령시를 포함하는 홍성 중앙부 일원에는 지금까지 경기육괴에서 일반적으로 관찰되는 고원생대의 편암 및 준편암류에 비해서 암상 및 형성시기가 뚜렷이 구분되는 화성암 및 변성암 복합체가 분포하고 있다(Fig. 2). 이들은 대체로 신원생대에서 고생대 시기에 걸쳐 형성된 암석들로 소위 덕정리편마암, 월현리복합체, 태안층 등으로 구분되며, 초염기성-염기성 포획체를 다수 포함하고 있는 것이 특징이다(Kim and Kee, 2010; Kim and Koh, 2010; Kee *et al.*, 2011; Choi *et al.*, 2012). 또한 일부 초염기성-염기성 포획체는 중압변성상부터 에클로자이트 변성상에 해당하는 변성작용을 받은 것으로 보고되고 있다(Seo *et al.*, 2005; Oh *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2006; Kwon *et al.*, 2013).

홍성, 서산과 안면도 일대에 분포하는 트라이아스기 홍성 화강암류는 주로 조립질의 흑운모 화강암, 섬강암, 섬록암, 맨거라이트(mangerite) 및 반화강암으로 구성되어 있는 것이 특징이다(Lee and Kim, 1963; Choi *et al.*, 2009; Williams *et al.*, 2009; Seo *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2011). 트라이아스기 홍성 화강암류의 관입시기(SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대)에 대해 조립질의 흑운모 화강암은 Choi *et al.*(2009)에 의해 233 ± 2 Ma와 Williams *et al.*(2009)과 Kim *et al.*(2011)에 의해 $227 \sim 226$ Ma로 보고되었다. 홍성화강암류 내 섬강암포획체는 Williams *et al.*(2009)에 의해 227 ± 2 Ma, 안면도 태안층과 안면도 고남복합체 내에 분포하는 섬강암은 Kee *et al.*(2011)에 의해 각각 231 ± 1 Ma와 230 ± 2 Ma의 연대들로 측정되었으며, 섬록암 내 맨거라이트는 Seo *et al.*(2010)에 의해

Fig. 1. Distribution of Triassic plutons in the Korean peninsula. NM, Nanglim massif; PB, Pyeongnam basin; IB, Imjingang belt; GM, Gyeonggi massif; OB, Okcheon belt; YM, Yeongnam massif; GB, Gyeongsang basin. SHRIMP zircon U-Pb zircon ages for Triassic plutons were obtained from the following sources: Kee *et al.*(2006); Lee *et al.*(2006); Peng *et al.*(2008); Cho *et al.*(2008); Choi *et al.*(2009); Williams *et al.* (2009); Seo *et al.*(2010); Kee *et al.*(2011); Song *et al.*(2011); Kihm and Hwang(2011); S.W. Kim *et al.*(2011); J. Kim *et al.*(2011); Kim *et al.*(2012); Song *et al.*(2013); this study.

Fig. 2. Geological map and sample location of the studied Triassic plutons from the central part of the Wolhyeonri complex in the Hongseong area.

232~230 Ma로 관입시기가 보고되었다.

주 연구지역인 월현리복합체 중앙부의 암상단위는 크게 고생대의 중기의 변성퇴적암류와 염기성 변성화산암류와 원생대 후기의 변성화강암류가 우세하며, 특히 월현리복합체의 중앙부인 홍성-광천을 중심으로 고생대 중기 염기성 변성화산암류는 북북동 방향의 주향 및 고각의 경사를 가지며 표식층서로 산출된다(Choi *et al.*, 2012). 일부 지역에서는 고생대 중기(437~414 Ma)의 토날라이트질 변성화강암류가 작은 규모의 암주상 관입양상으로 산출된다(Choi *et al.*, 2012). 표식층서인 고생대 중기 염기성 변성화산암류의 동측과 서측은 신원생대 편마암이 분포하며 주요 암종으로는 화강암질 정편마암, 토날라이트질 정편마암(함각섬석 정편

마암)과 석영-장석질 편마암으로 구성되며 일부 지역에서는 준편마암 및 대리암이 산출된다(Fig. 2). 기존 홍성도폭(Lee and Kim, 1963)에서는 고생대 중기 염기성 변성화산암류의 동측은 덕정리 편마암으로 보고하였다.

연구대상 암체 중 V형으로 분포되는 섬록암은 연구지역의 북서부에 우세하게 분포하며 이들 섬록암체에서 소위 정방회석을 포함하는 몬조니암의 맨거라이트가 드물게 보고되고 있다(Seo *et al.*, 2010). 그 외에 홍성읍-광천읍-청소면 일대에 트라이아스기 후기 관입시기로 추정되는 소규모 암주상 혹은 관입상의 다양한 심성암체(섬장암, 염기성 관입암, 우백질 화강암 및 반심성암)가 분포한다.

3. 연구지역 심성암류의 암석기재

연구지역의 북서부에 V형으로 우세하게 분포하는 섬록암체는 특징적으로 장방형의 정장석 반정을 갖는 조립질 화강암류로 경기육괴에 산출되는 트라이아스기 후기의 석영 문조니암 혹은 문조니암과 유사한 조직을 보여준다. 이 섬록암체에 대한 기존 Seo *et al.*(2010)

의 암석기재와 암석화학적 결과는 섬록암보다 문조니암의 특징과 유사하므로 이 암체를 문조니암으로 수정 명명하였다. 문조니암체는 지역에 따라서 광물의 방향성을 보여주기도 하며, 부분적으로 마그마 유동에 의하여 형성된 유동구조가 잘 관찰된다(Fig. 3a). 주 구성광물은 사장석, 알칼리 장석, 각섬석, 석영, 휘석, 흑운모이다(Fig. 4a). 문조니암 내 휘석은 많은 결정이

Fig. 3. Outcrop photographs showing Triassic plutons. (a)-(c) Monzonite, (d) aplite, (e) syenite, (f) monzodiorite and (g)-(h) mafic intrusives.

Fig. 4. Photomicrograph from Triassic monzonite-aplite plutons with minor leucocratic granite, syenite, monzodiorite and mafic intrusives: (a)-(c) monzonite showing porphyritic texture, (d) aplite showing hypidiomorphic-granular texture, (e) foliated syenite and (f)-(g) monzodiorite and mafic intrusives showing allotriomorphic-granular texture. Amp, amphibole; Bt, biotite; Qtz, quartz; Pl, plagioclase; Px, pyroxene; Kfs, K-feldspar.

자형을 가지며 일부 장석류는 퍼사이트의 문상연정 (graphic intergrowth)의 구조를 잘 보여준다(Fig. 4b). 문조니암체 내에는 불규칙한 타원 형태로 세립 혹은 중립질의 고철질 염기성 입상질 포획체(mafic microgranular enclave)가 포함되기도 한다(Fig. 3b). 이 포획암들의 구성광물은 문조니암과 유사하지만 휘석의 함유량이 많으며, 최소 두 번이상의 정출을 경험한 사장석 반정들이 잘 관찰된다(Fig. 4c). 문조니암체 내에서 Seo *et al.*(2010)에 보고된 정방휘석을 가지는 맨거라이트는 문조니암체 내에 전석으로 지역적으로 드물게 산재되거나 문조니암체에 포획암으로 산출되기 때문에 본문에서는 함정방휘석 문조니암으로 명명하였다(Fig. 3c).

반화강암은 주로 홍성읍-광천읍을 연결하는 21번 국도 주변부에 북북동 방향의 암맥상 혹은 소규모 암주상으로 관입 분포하며, 트라이아스기 후기인 홍성 화강암류의 주변부에 산재하는 것이 특징이다(Lee and Kim, 1963). 이 암상은 유백색을 띠며 중립에서 세립질의 등립상 조직을 보여준다(Fig. 3d). 주 구성광물로 알칼리 장석과 석영 그리고 사장석, 흑운모 백운모가 소량 관찰되며(Fig. 4d), 녹니석은 2차 변질광물로 나타난다. 광천읍-청소면을 연결하는 21번 국도 주변부에는 소규모 암주상을 이루는 중립에서 조립질의 우백질 화강암이 분포하며 주 구성광물은 반화강암의 구성광물과 유사하다.

그밖에 섬강암, 염기성 관입암류가 암주상 또는 암맥상으로 연구지역에 산재되어 산출된다(Fig. 3e, f, g, h). 섬강암은 광물의 방향성이 발달하며, 주 성분광물은 각섬석, 사장석, 알칼리 장석, 흑운모와 석영이다(Fig. 4e). 충남 보령시 청소면 성연리의 성연저수지 주변에 산출되는 문조섬록암류는 암맥상을 이룬다. 일부에서는 층상구조를 보여주며 자형의 각섬석 결정이 발달되어 있는 것이 특징이고, 주 구성광물은 각섬석, 사장석, 석영이다(Fig. 4f). 염기성 관입암류는 중립질의 괴상이며 섬록암질과 반력암질 암체로 구분된다. 섬록암질 암체는 주로 각섬석, 사장석, 석영으로 구성되어 있으며(Fig. 4g), 반력암질 암체의 주 구성광물은 각섬석이고(Fig. 4h), 일부 사장석, 휘석과 석영이 관찰된다. 연구지역 트라이아스기 심성암류에서는 저어콘, 인회석, 스펀, 녹염석 및 불투명광물 등이 부성분 광물로 관찰된다.

4. SHRIMP U-Pb 저어콘 연대

연구지역의 트라이아스기 심성암류의 관입시기를 밝히기 위해서 10개 시료에 대해 SHRIMP U-Pb 저어

콘 연대측정을 실시하였다(Fig. 2). SHRIMP U-Pb 연대측정을 위한 저어콘 내부구조 및 분석 위치선정과 U-Pb-Th 분석은 한국기초과학지원연구원 오창캠퍼스에 설치되어 있는 주사전자현미경(Jeol JSM-6610LV)과 SHRIMP IIe를 사용하였다. 저어콘 분리, 디스크에 마운팅, SHRIMP 분석방법과 절차는 Williams(1998), Williams *et al.*(2009), Kim and Kee(2010)에 의해 기재되어 있다. U와 Th의 붕괴상수는 Steiger and Jager(1977)의 값을 사용하였다. Table 1과 Figs. 5와 6에 실린 각 분석점 자료와 일치연령에 표시된 오차범위는 1 σ 를 나타내고 평균 연령치에 딸린 오차범위는 2 σ (약 95% 신뢰도)를 정의한다. 분석점 직경은 25~35 μ m이며 한 점의 U-Pb 분석마다 필요한 모든 질량의 동위원소를 5번 반복 정량하였다. 저어콘 동위원소 자료들은 SQUID 2.50(Ludwig, 2008)와 Isoplot 3.71(Ludwig, 2009) 프로그램을 사용해 처리하였다.

연대측정 대상 트라이아스기 심성암류에서 분리된 저어콘의 크기는 100-350 μ m 정도로 주상 또는 판상의 형태를 가지는 자형 혹은 반자형의 입자로 나타난다(Fig. 5). 대부분의 입자의 내부는 진동형, 영역형 및 밴드형 누대구조 등을 가지는 화성기원 저어콘의 특징을 보여준다. 암맥상 또는 암주상으로 산출되는 심성암류는 많은 저어콘 입자의 외연부가 후기 열적 영향 혹은 변형을 지시하는 메타믹트(metamict) 구조를 일반적으로 보여준다(Fig. 5).

문조니암: 충남 홍성군 홍성읍 남서측에 분포하는 문조니암(130326-807A)에서 분리된 저어콘 총 13점의 U 함량이 195-480 ppm, Th 함량이 274-693 ppm과 Th/U 비가 1.13-1.49이다(Table 1). 총 15개 분석점 중 13개의 분석점에서 연대집중군을 보여주며 228 ± 2 Ma의 트라이아스기 후기 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 연대를 보여준다(Fig. 6a).

반화강암: 충남 홍성읍-광천읍을 연결하는 21번 국도 주변부에서 채취된 암맥상의 반화강암(130313-A1, 120604-9, 120604-5)은 전형적인 마그마 기원의 특징인 진동형 누대구조 저어콘이 관찰되지만 저어콘 외연부가 메타믹트 되어 있다. 특히 130313-A1 시료는 거의 대부분의 저어콘 시료가 강하게 메타믹트 되어 있고(Fig. 5), 메타믹트된 분석점들은 높은 U와 Th 함량을 갖는다. 연대 측정된 반화강암 시료들은 관입 이전의 시기에 형성된 상속핵을 포함하며 주로 신원생대의 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 겹보기 연대분포를 가진다(Fig. 6). 130313-A1의 저어콘 연대측정 분석점들은 높은 U와 Th 함량

Table 1. SHRIMP U-Pb data of zircons from Late Triassic plutons from the study area

Grain spot	Pb* (ppm)	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U	±	²⁰⁷ Pb*/ ²⁰⁶ Pb	±	Apparent ages (Ma)			
									²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±
Monzonite (130326-807A)												
1.1	9.0	296	323	1.13	0.035367	0.000482	0.053259	0.003163	224.1	3.0	339.9	134.5
2.1	11.5	378	446	1.22	0.035547	0.000844	0.052087	0.002929	225.2	5.3	289.3	128.5
3.1	10.2	332	396	1.23	0.035652	0.000597	0.050895	0.003386	225.8	3.7	236.1	153.5
4.1	10.3	339	428	1.31	0.035428	0.000663	0.051360	0.003152	224.4	4.1	257.0	141.0
5.1	8.2	267	357	1.38	0.035699	0.000546	0.045574	0.004465	226.1	3.4	-24.9	237.3
6.1	12.8	419	528	1.30	0.035752	0.000608	0.054156	0.002571	226.4	3.8	377.5	106.8
7.1	8.0	263	334	1.31	0.035258	0.000587	0.049811	0.004416	223.4	3.7	186.2	206.4
8.1	11.1	367	447	1.26	0.035508	0.000465	0.054142	0.002797	224.9	2.9	377.0	116.2
9.1	10.7	344	428	1.28	0.036468	0.000677	0.053081	0.002929	230.9	4.2	332.3	125.1
10.1	6.1	195	274	1.45	0.036193	0.000403	0.051582	0.005310	229.2	2.5	266.9	236.2
11.1	15.1	480	693	1.49	0.036811	0.000744	0.052282	0.002419	233.0	4.6	297.8	105.6
12.1	10.3	327	411	1.30	0.036752	0.000574	0.048375	0.002725	232.7	3.6	117.6	132.8
13.1	10.5	337	395	1.21	0.036576	0.000327	0.056572	0.002813	231.6	2.0	474.9	110.0
Aplite (130313-A1)												
1.1	265.9	7668	7314	0.99	0.040355	0.000372	0.050944	0.000424	255.0	2.3	238.3	19.2
2.1	192.2	5930	5468	0.95	0.037741	0.000350	0.051011	0.000487	238.8	2.2	241.3	22.0
3.1	263.7	7742	6975	0.93	0.039610	0.000525	0.050489	0.000240	250.4	3.3	217.6	11.0
4.1	15.4	152	94	0.64	0.118160	0.001185	0.065612	0.002592	720.0	6.8	794.0	82.9
5.1	50.7	1732	1306	0.78	0.034051	0.000572	0.049592	0.000952	215.9	3.6	175.9	44.8
6.1	21.7	709	1035	1.51	0.035649	0.000506	0.052661	0.001500	225.8	3.1	314.2	64.8
7.1	339.3	9692	10745	1.15	0.040704	0.000335	0.050393	0.000423	257.2	2.1	213.1	19.4
8.1	279.7	8298	8482	1.06	0.039117	0.000365	0.048607	0.001880	247.4	2.3	128.9	91.0
9.1	211.8	6503	6207	0.99	0.037861	0.000391	0.049943	0.000611	239.6	2.4	192.3	28.4
10.1	36.7	1215	840	0.71	0.035125	0.000543	0.050031	0.001318	222.5	3.4	196.4	61.2
11.1	4.7	150	203	1.39	0.037027	0.000631	0.063416	0.005669	234.4	3.9	722.2	189.7
Aplite (120604-9)												
1.1	3.8	121	146	1.25	0.036483	0.000464	0.042199	0.003197	231.0	2.9	-214.7	190.4
2.1	135.8	4542	2077	0.47	0.034337	0.000628	0.039415	0.011809	217.6	3.9	-389.2	779.7
3.1	35.1	312	375	1.24	0.130986	0.001309	0.066556	0.000825	793.5	7.5	823.9	25.9
4.1	41.5	418	623	1.54	0.116152	0.001114	0.065283	0.000693	708.4	6.4	783.5	22.3
5.1	5.8	183	330	1.86	0.035969	0.000459	0.037645	0.005043	227.8	2.9	-510.2	357.4
6.1	4.7	160	205	1.32	0.034220	0.000517	0.041725	0.007932	216.9	3.2	-243.1	480.4
7.1	9.8	134	50	0.39	0.086719	0.001045	0.068800	0.005198	536.1	6.2	892.8	156.0
8.1	3.6	117	143	1.27	0.035916	0.000548	0.046777	0.005287	227.5	3.4	37.8	270.5
9.1	70.3	633	428	0.70	0.129562	0.001936	0.066930	0.000479	785.4	11.0	835.6	14.9
10.1	34.9	338	216	0.66	0.120542	0.001166	0.066058	0.000717	733.7	6.7	808.2	22.7
12.1	14.3	263	230	0.90	0.063325	0.000687	0.054490	0.002983	395.8	4.2	391.4	122.8
13.1	75.8	559	59	0.11	0.157976	0.002892	0.071240	0.001094	945.5	16.1	964.3	31.4
14.1	4.7	146	210	1.48	0.037679	0.000421	0.048116	0.001956	238.4	2.6	105.0	96.1
15.1	4.1	131	160	1.26	0.036458	0.000407	0.054404	0.001499	230.8	2.5	387.8	61.9
16.1	8.3	268	219	0.84	0.036002	0.000356	0.051344	0.002439	228.0	2.2	256.3	109.2
17.1	7.1	214	241	1.16	0.038455	0.000411	0.048698	0.001095	243.2	2.5	133.3	52.8
18.1	26.0	442	28	0.06	0.068742	0.001648	0.060549	0.000808	428.6	9.9	623.2	28.8
19.1	9.7	329	277	0.87	0.034404	0.000315	0.053202	0.001223	218.1	2.0	337.4	52.1

Table 1. Continued

Grain spot	Pb* (ppm)	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U	±	²⁰⁷ Pb*/ ²⁰⁶ Pb	±	Apparent ages (Ma)			
									²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±
Aplite (120604-9)												
1.1	92.3	880	559	0.66	0.122206	0.001073	0.064896	0.000728	743.3	6.2	771.0	23.6
2.1	97.0	2949	205	0.07	0.038282	0.000348	0.050415	0.000402	242.2	2.2	214.2	18.5
3.1	20.7	689	25	0.04	0.034945	0.000471	0.048002	0.001091	221.4	2.9	99.4	53.8
4.1	6.6	225	124	0.57	0.033759	0.000952	0.044393	0.002509	214.0	5.9	-88.9	138.6
5.1	6.2	209	135	0.67	0.034377	0.000400	0.048545	0.003623	217.9	2.5	125.9	175.7
6.1	6.2	210	152	0.75	0.034287	0.000383	0.046560	0.002796	217.3	2.4	26.7	144.0
7.1	5.1	165	141	0.88	0.036442	0.000411	0.052915	0.001767	230.7	2.6	325.2	75.8
8.1	42.9	395	298	0.78	0.126698	0.001863	0.065407	0.000618	769.0	10.7	787.5	19.8
9.1	5.8	193	161	0.86	0.034908	0.000400	0.045072	0.003393	221.2	2.5	-51.8	183.3
10.1	4.0	131	67	0.53	0.035263	0.000440	0.045167	0.003499	223.4	2.7	-46.6	188.4
11.1	5.4	44	15	0.34	0.143843	0.002463	0.062348	0.002761	866.4	13.9	686.1	94.5
12.1	22.6	211	94	0.46	0.125132	0.001458	0.064845	0.005179	760.0	8.4	769.3	168.2
13.1	3.4	117	144	1.27	0.033497	0.000426	0.046875	0.003740	212.4	2.7	42.8	190.7
14.1	10.2	338	309	0.94	0.035234	0.000350	0.051793	0.001516	223.2	2.2	276.3	67.0
15.1	16.6	563	330	0.61	0.034408	0.000331	0.050095	0.000810	218.1	2.1	199.4	37.5
16.1	84.3	785	558	0.73	0.125304	0.001113	0.066456	0.000406	761.0	6.4	820.8	12.8
17.1	2.9	98	77	0.81	0.034421	0.000491	0.037167	0.005181	218.2	3.1	-544.4	374.5
18.1	4.2	135	94	0.72	0.035867	0.000452	0.044722	0.003656	227.2	2.8	-70.8	199.7
19.1	35.8	330	282	0.88	0.126559	0.001287	0.067171	0.000713	768.2	7.4	843.1	22.1
20.1	29.9	1008	293	0.30	0.034419	0.000331	0.047370	0.001023	218.1	2.1	67.9	51.4
Aplite (120601-5)												
1.1	55.1	1813	766	0.44	0.035358	0.000278	0.050033	0.001731	224.0	1.7	196.5	80.4
2.1	25.9	867	612	0.73	0.034818	0.000294	0.050817	0.001874	220.6	1.8	232.6	85.1
3.1	15.4	521	300	0.59	0.034450	0.000459	0.052117	0.003004	218.3	2.9	290.6	131.7
4.1	9.2	308	169	0.57	0.034868	0.000386	0.053860	0.004222	220.9	2.4	365.2	176.7
5.1	23.6	772	458	0.61	0.035473	0.000462	0.049173	0.001995	224.7	2.9	156.1	95.0
6.1	109.5	3653	834	0.24	0.034937	0.000260	0.051596	0.001234	221.4	1.6	267.5	54.9
7.1	17.6	566	376	0.69	0.036312	0.000339	0.052707	0.002664	229.9	2.1	316.2	114.9
8.1	16.2	530	263	0.51	0.035506	0.000339	0.047763	0.002985	224.9	2.1	87.6	148.2
9.1	20.1	669	505	0.78	0.034853	0.000318	0.050131	0.002731	220.9	2.0	201.1	126.5
10.1	15.2	523	302	0.60	0.033886	0.000534	0.048505	0.003269	214.8	3.3	124.0	158.7
11.1	23.5	781	453	0.60	0.035046	0.000408	0.051734	0.002273	222.1	2.5	273.7	100.7
12.1	15.6	512	274	0.55	0.035588	0.000343	0.052458	0.003214	225.4	2.1	305.4	139.6
13.1	18.4	603	391	0.67	0.035602	0.000322	0.051478	0.002374	225.5	2.0	262.3	105.9
14.1	14.3	471	237	0.52	0.035369	0.000340	0.052621	0.003370	224.1	2.1	312.5	145.7
15.1	14.5	480	272	0.58	0.035042	0.000353	0.047648	0.003073	222.0	2.2	81.8	153.1
Tonalite (120531-4)												
1.1	4.3	138	176	1.32	0.035427	0.000407	0.041571	0.002997	224.4	2.5	-252.4	182.5
2.1	4.3	138	169	1.26	0.035656	0.000419	0.042259	0.003915	225.8	2.6	-211.1	232.7
3.1	5.0	160	191	1.24	0.035817	0.000404	0.041670	0.003225	226.9	2.5	-246.4	195.7
4.1	4.1	134	133	1.03	0.035547	0.000633	0.044310	0.003244	225.2	3.9	-93.4	179.7
5.1	4.1	132	172	1.35	0.036050	0.000414	0.046461	0.002765	228.3	2.6	21.6	142.9
6.1	2.9	93	114	1.26	0.035929	0.000463	0.044949	0.003656	227.6	2.9	-58.4	198.3
7.1	115.7	3736	391	0.11	0.036060	0.000285	0.050887	0.000306	228.4	1.8	235.7	13.9

Table 1. Continued

Grain spot	Pb* (ppm)	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$\pm$	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}$	$\pm$	Apparent ages (Ma)			
									$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm$
8.1	3.7	117	159	1.40	0.036150	0.000422	0.047543	0.002491	228.9	2.6	76.6	124.5
9.1	3.4	111	147	1.37	0.035475	0.000441	0.041182	0.003673	224.7	2.7	-276.3	226.9
10.1	63.7	2076	120	0.06	0.035698	0.000287	0.050774	0.000460	226.1	1.8	230.6	20.9
11.1	5.4	168	206	1.26	0.037362	0.000401	0.049164	0.001771	236.5	2.5	155.7	84.3
12.1	4.8	151	210	1.43	0.036515	0.000405	0.046396	0.002314	231.2	2.5	18.2	119.8
13.1	4.5	140	155	1.14	0.037014	0.000641	0.042250	0.002844	234.3	4.0	-211.6	169.0
14.1	3.7	116	148	1.31	0.036890	0.000446	0.041651	0.003131	233.5	2.8	-247.6	190.1
15.1	99.5	3234	184	0.06	0.035810	0.000288	0.050737	0.000346	226.8	1.8	228.9	15.7
15.2	4.7	150	190	1.31	0.036649	0.000391	0.051557	0.002921	232.0	2.4	265.8	130.0
<i>Monzodiorite (120605-6)</i>												
1.1	18.5	186	181	1.00	0.115550	0.001197	0.063419	0.001072	704.9	6.9	722.3	35.9
2.1	26.9	441	7	0.02	0.070918	0.000876	0.054550	0.000764	441.7	5.3	393.8	31.4
3.1	65.8	1144	14	0.01	0.066857	0.000521	0.054290	0.000368	417.2	3.1	383.1	15.2
4.1	7.0	225	244	1.12	0.035942	0.000335	0.049568	0.001361	227.6	2.1	174.8	64.1
5.1	57.0	982	13	0.01	0.067508	0.000528	0.055073	0.000393	421.1	3.2	415.2	15.9
6.1	63.7	1170	28	0.02	0.063362	0.000487	0.054140	0.000398	396.0	3.0	376.9	16.5
7.1	37.7	651	14	0.02	0.067321	0.000589	0.053802	0.000523	420.0	3.6	362.8	21.9
8.1	115.9	1011	56	0.06	0.133510	0.001039	0.065848	0.000305	807.9	5.9	801.5	9.7
8.2	27.2	338	9	0.03	0.093363	0.001328	0.056944	0.001419	575.4	7.8	489.4	55.0
9.1	6.3	200	235	1.22	0.036317	0.000351	0.043650	0.002180	230.0	2.2	-130.4	123.4
10.1	30.8	542	7	0.01	0.066188	0.000598	0.055318	0.000574	413.2	3.6	425.1	23.2
11.1	33.0	615	8	0.01	0.062505	0.000547	0.054711	0.000549	390.8	3.3	400.4	22.5
11.2	48.9	870	14	0.02	0.065251	0.000564	0.053348	0.001435	407.5	3.4	343.6	60.9
12.1	51.8	941	26	0.03	0.064109	0.000562	0.055414	0.003585	400.6	3.4	429.0	144.2
13.1	52.7	1029	12	0.01	0.059858	0.000868	0.056760	0.000416	374.8	5.3	482.2	16.2
14.1	29.4	536	13	0.02	0.063776	0.000539	0.054792	0.000561	398.6	3.3	403.7	22.9
15.1	9.3	308	284	0.95	0.034910	0.000320	0.047705	0.001456	221.2	2.0	84.7	72.4
16.1	17.7	277	4	0.01	0.074211	0.000678	0.056487	0.000894	461.5	4.1	471.5	35.0
17.1	10.3	333	358	1.11	0.035821	0.000325	0.047502	0.001849	226.9	2.0	74.5	92.5
18.1	8.1	264	349	1.37	0.035526	0.000327	0.046450	0.001813	225.0	2.0	21.0	93.7
19.1	25.8	262	254	1.00	0.115234	0.001044	0.066166	0.000667	703.1	6.0	811.6	21.1
20.1	32.7	474	164	0.36	0.080968	0.000733	0.061841	0.000577	501.9	4.4	668.6	20.0
21.1	26.7	462	10	0.02	0.066996	0.000562	0.051728	0.000730	418.0	3.4	273.4	32.3
<i>Monzodiorite (130313-A6)</i>												
1.1	1.7	53	45	0.88	0.036351	0.000872	0.033754	0.016382	230.2	5.4	-810.6	1380.1
2.1	12.4	382	1111	3.01	0.037926	0.000713	0.051461	0.002482	240.0	4.4	261.5	110.7
3.1	2.8	86	120	1.44	0.038027	0.000668	0.045604	0.010656	240.6	4.1	-23.3	565.8
4.1	5.6	174	295	1.75	0.037221	0.000390	0.048341	0.004888	235.6	2.4	116.0	238.5
5.1	10.8	336	811	2.50	0.037440	0.000462	0.048730	0.002642	236.9	2.9	134.9	127.4
6.1	4.3	138	268	2.01	0.036377	0.000758	0.053636	0.006961	230.3	4.7	355.8	293.1
7.1	7.4	237	514	2.24	0.036150	0.000806	0.050455	0.003859	228.9	5.0	216.0	177.1
8.1	5.6	181	334	1.90	0.035607	0.000640	0.045493	0.004575	225.5	4.0	-29.2	243.7
9.1	6.6	215	435	2.09	0.035448	0.000677	0.050226	0.003813	224.6	4.2	205.5	176.1
10.1	1.2	42	34	0.83	0.033307	0.000921	0.041378	0.018335	211.2	5.7	-264.3	1124.5

Table 1. Continued

Grain spot	Pb* (ppm)	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U	±	²⁰⁷ Pb*/ ²⁰⁶ Pb	±	Apparent ages (Ma)				
									²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±	
Dioritic mafic enclave (130313-A8-2)													
1.1	2.5	79	85	1.11	0.037167	0.000988	0.060803	0.008114	235.2	6.1	632.3	287.4	
2.1	8.1	253	718	2.93	0.037330	0.000632	0.051451	0.003347	236.3	3.9	261.1	149.4	
3.1	5.3	163	369	2.34	0.038016	0.000735	0.050386	0.005052	240.5	4.6	212.8	232.3	
4.1	3.0	91	105	1.19	0.039132	0.000590	0.057824	0.008866	247.5	3.7	523.1	336.3	
5.1	4.9	153	182	1.23	0.037321	0.000677	0.046627	0.005139	236.2	4.2	30.2	264.2	
6.1	8.6	261	610	2.41	0.038444	0.000766	0.050427	0.003741	243.2	4.8	214.7	171.8	
7.1	10.2	320	471	1.52	0.037244	0.000667	0.052776	0.002314	235.7	4.1	319.2	99.7	
8.1	7.2	225	405	1.86	0.037309	0.000561	0.048128	0.004134	236.1	3.5	105.6	203.0	
9.1	2.0	63	71	1.15	0.037303	0.001338	0.046314	0.011997	236.1	8.3	14.0	622.7	
10.1	7.8	239	288	1.25	0.038334	0.000613	0.052557	0.003476	242.5	3.8	309.7	150.6	
11.1	3.0	96	132	1.42	0.035949	0.000553	0.051026	0.009025	227.7	3.4	242.0	407.6	
12.1	7.5	232	197	0.87	0.037908	0.000918	0.059611	0.004597	239.9	5.7	589.5	167.3	
13.1	4.4	140	153	1.13	0.036950	0.000865	0.054478	0.006808	233.9	5.4	390.9	280.5	
Mafic intrusive (120604-10)													
1.1	9.7	317	359	1.17	0.035697	0.000375	0.049363	0.004677	226.1	2.3	165.1	221.4	
2.1	6.7	221	221	1.03	0.035768	0.000770	0.055551	0.009100	226.5	4.8	434.5	364.8	
3.1	6.1	186	193	1.07	0.038206	0.000653	0.046758	0.010835	241.7	4.1	36.9	554.7	
4.1	5.7	185	208	1.16	0.036150	0.000714	0.050684	0.007549	228.9	4.4	226.5	344.2	
5.1	7.6	239	259	1.12	0.036605	0.000569	0.041352	0.009174	231.8	3.5	-265.8	563.2	
6.1	6.6	214	242	1.17	0.036076	0.000664	0.052476	0.007312	228.5	4.1	306.2	317.4	
7.1	8.7	287	374	1.34	0.035366	0.000374	0.049786	0.004746	224.0	2.3	185.0	222.0	
8.1	7.2	231	297	1.33	0.036181	0.000893	0.049855	0.008271	229.1	5.6	188.2	386.1	
9.1	12.9	423	317	0.77	0.035583	0.000313	0.053844	0.003183	225.4	1.9	364.5	133.3	
10.1	7.1	224	236	1.09	0.036408	0.000451	0.046042	0.006424	230.5	2.8	-0.2	336.3	
11.1	5.8	189	227	1.24	0.035731	0.000510	0.051928	0.008086	226.3	3.2	282.2	356.3	

을 갖는 분석점들에 의해 가중평균 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 연대를 구하지 못하였지만 트라이아스기 후기의 관입시기로 해석된다(Fig. 6b-d). 다른 2개의 반화강암 시료 120604-9와 120604-5에서 측정된 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대 결과는 각각 230 ± 5 Ma, 222 ± 2 Ma로 반화강암은 230 Ma부터 222 Ma 사이에 관입한 것으로 해석된다.

우백질 화강암: 충남 보령시 청소면 북측에 분포하는 우백질 화강암(120610-5)에서 분리된 저어콘 총 15점의 U 함량이 308-1813 ppm, Th 함량이 169-766 ppm과 Th/U비가 0.44-0.78이며, 메타믹트된 저어콘 외연부는 진동형 누대구조 분석점보다 상대적으로 높은 U 함량, 낮은 Th 함량과 낮은 Th/U 비를 가진다. 총

15개 분석점 중 14개의 분석점에서 연대집중군을 보여주며 223 ± 2 Ma의 가중평균 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 연대를 보여준다(Fig. 6e).

섬강암: 청소면의 호남고속도로 상행선 다리 인근의 월현리복합체 내 신원생대 편마암체 내에 소규모 암주상으로 분포하는 섬강암(120531-4)의 저어콘 총 16점에 대한 U-Pb-Th 분석을 수행하였다. 메타믹트된 저어콘 외연부 분석점들을 제외하면 U 함량이 93-168 ppm, Th 함량이 114-210 ppm과 Th/U비가 1.03-1.43를 가진다. 총 15개 분석점 중 14개의 분석점에서 연대집중군을 보여주며 229 ± 2 Ma의 가중평균 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 연대를 보여준다(Fig. 6f).

Fig. 5. SEM cathodoluminescence (CL) images of sectioned zircon grains for the Triassic plutons from the central part of the Wolhyeonri complex. Numbered spots are locations of representative SHRIMP analysis.

몬조섬록암: 청소면 인근 성연저수지 북측 고생대 중기 월현리 변성퇴적암을 암주상 관입하는 몬조섬록암 (120605-6)에서 분리된 저어콘은 약 30% 화성기원의 진동형 누대구조 저어콘과 약 70% 변성기원의 과성장 누대구조 저어콘으로 뚜렷이 분리되어 나타난다. 총 23 점에 대한 U-Pb-Th 분석을 수행하였으며 신원생대인 808 Ma에서 트라이아스기 중기 221 Ma의 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 연대분포를 보여주며, 707 Ma에서 502 Ma의 불일치 연령들을 제외하고 일치연령 연대집중군은 약 808 Ma, 409 Ma 및 227 Ma의 세 시기로 나타난다. 일치연령 연대집중군의 상대적인 U, Th 및 Th/U비를 알아보면 808 Ma를 나타내는 한점의 분석점에서는 U 함량이 1011 ppm, Th 함량이 56 ppm과 Th/U비가 0.01-0.03이며, 약 409 Ma의 연대집중군을 보여주는 분석점들에서는 U 함량이 277-1170 ppm, Th 함량이 4-28 ppm과 Th/U비가 변성기원의 0.01-0.03이다. 이 암석의 관입시기를 지시하는 약 227 Ma(227 ± 4 Ma, $n = 5$, MSWD = 3; Fig. 6g)의 연대집중군을 보여주는 분석점들에서는 U 함량이 200-333 ppm, Th 함량이 244-358 ppm과 Th/U비가 0.95-1.37를 가진다. 홍성군 광

천읍 북동측에 신원생대 정편마암을 관입하는 암주상 몬조섬록암(130313-A6)에서 분리된 저어콘 총 10점에 대한 U-Pb-Th 분석을 수행하였다. 분석점들의 U 함량이 42-382 ppm, Th 함량이 34-1111 ppm과 Th/U비가 0.83-3.01이다. 총 10개 분석점 중 9개의 분석점에서 연대집중군을 보여주며 235 ± 4 Ma의 가중평균 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 연대를 보여준다(Fig. 6h).

염기성 관입암: 광천읍 북동측 월현리 인근의 신원생대 준편마암 내의 염기성 관입암에서 분리된 저어콘 총 13점의 U 함량이 63-320 ppm, Th 함량이 71-718 ppm과 Th/U비가 0.87-2.93이다. 총 12개의 분석점에서 연대집중군을 보여주며 237 ± 4 Ma의 가중평균 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 연대를 보여준다(Fig. 6i). 광천읍 북측 하리인근의 암주상 염기성 관입암에서 분리된 저어콘 총 11점에 대한 U-Pb-Th 분석을 수행하였다. 분석점들의 U 함량이 185-423 ppm, Th 함량이 193-374 ppm과 Th/U비가 0.77-1.34이다. 총 11개의 분석점에서 연대집중군을 보여주며 228 ± 4 Ma의 가중평균 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 연대를 보여준다(Fig. 6h).

Fig. 6. Concordia plots of SHRIMP U-Pb isotopic analyses of zircon for the Triassic plutons from the central part of the Wolhyeonri complex. Numbered spots are locations of representative SHRIMP analysis.

Table 2. Major and trace element analyses of plutonic rocks in the Wolhyeonri complex in the Hongseong area

Age							Triassic						
Rock type	Monzonite			Aplite			Leucogranite	Tonalite		Monzodiorite		Mafic intrusive	
Area	Hongseong												
Sample	130326 -807A	130327 -814	130327 -825	130313 -A1	120604 -5	120604 -9	120601 -5	120531 -4	120531 -6	120605 -6	130313 -A6	130313 -A8-2	120604 -10
SiO ₂	56.59	59.81	57.03	72.66	70.16	76.21	72.17	58.74	54.92	55.01	54.78	49.47	47.79
TiO ₂	0.81	0.68	0.75	0.19	0.26	0.03	0.37	0.74	0.87	0.69	0.54	0.82	0.65
Al ₂ O ₃	15.87	14.62	13.62	14.00	14.80	12.71	14.42	15.47	15.69	14.74	13.90	14.37	15.79
Fe ₂ O ₃ *	5.80	4.99	6.27	1.69	1.92	0.55	2.04	5.22	6.02	9.86	5.51	11.26	6.69
MnO	0.10	0.08	0.11	0.03	0.04	0.01	0.01	0.08	0.10	0.16	0.09	0.15	0.11
MgO	4.08	3.75	6.02	0.29	0.45	0.06	0.56	4.35	3.09	6.69	5.30	8.00	9.57
CaO	5.14	4.24	6.14	0.97	1.65	0.25	0.37	4.70	5.01	8.06	5.60	10.45	14.54
Na ₂ O	3.51	3.23	2.72	3.24	3.38	3.37	3.88	3.60	2.16	1.84	0.80	2.60	1.56
K ₂ O	5.53	5.81	5.87	5.02	4.32	4.88	3.09	5.50	5.05	1.78	5.14	0.57	0.89
P ₂ O ₅	0.59	0.53	0.74	0.06	0.10	0.01	0.07	0.59	0.58	0.08	1.12	0.08	0.05
LOI	0.84	0.91	1.07	2.80	1.01	1.11	1.63	0.84	4.85	1.81	6.71	1.25	2.36
TOTAL	98.87	98.64	100.30	100.90	98.09	99.20	98.61	99.84	98.35	100.70	99.49	99.02	100.00
Ba	3204	2571	2997	1030	1214	130	1132	3423	2912	366	3477	91	168
Sr	2108	1475	1482	234	386	56	326	2062	923	249	996	95	532
Zr	523	432	407	257	149	164	204	276	292	72	469	49	34
Ni	85	82	124	7	2	4	5	101	20	14	196	68	177
Ga	22	21	19	22	18	17	18	20	22	15	19	15	13
V	107	87	115	16	29	6	41	102	133	232	107	287	155
Hf	10.7	9	8.8	6.7	3.5	7.9	5	6	5.5	2	9.7	1.3	0.9
Nb	16	18.7	15	50	14.2	22.6	3.8	10.2	11.8	0.8	22.7	2.6	0.7
Ta	0.56	1.27	0.75	2.32	2.83	5.59	0.4	0.86	0.82	0.34	1.23	0.06	0.31
Rb	153	165	197	291	165	317	127	179	184	67	109	10	50
Y	22	19	21	51	14	28	6	17	21	19	18	21	7
Cs	3	3.7	6.3	4.3	2.4	20.5	3.5	8.9	5	1.5	1.5	0.2	2.3
U	1.71	2.79	3.07	8.9	4.35	13.7	2.27	2.85	1.96	0.62	2.58	0.17	0.08
Th	24.7	20.4	14.3	82.1	19.1	60.6	60.1	14.3	27.4	3.51	10.1	2.05	0.33
Pb	49	55	47	55	21	54	25	40	27	7	21	< 5	< 5
Sc	12.9	10.8	0.08	2.51	3.55	1.9	3.91	11	12.9	38.5	12.7	42.6	37
Be	3	4	5	6	2	3	2	3	4	1	1	< 1	< 1
Cr	165	130	264	24.3	6.1	< 0.5	9.8	175	48.1	500	228	208	986
Co	20.6	18.2	26.2	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	22.3	22.3	33.3	24.9	46.3	37.7
Cu	25	16	18	4	5	3	10	53	6	31	55	33	51
Zn	85	75	82	44	45	14	37	62	72	66	90	93	35
Ge	1.7	1.9	1.9	2.6	1.3	2.4	1.1	1.8	1.6	2.1	1.5	1.7	2
La	128	116	117	415	22.5	14.3	59.5	103	143	10.9	91.8	4.67	6.38
Ce	236	213	224	930	58.8	29.8	102	190	243	22.8	190	9.96	14.6
Pr	27	23.5	26	104	4.49	4.12	11.6	21.9	25.9	3.07	23.5	1.42	2.17
Nd	96.1	83	96.2	343	15.8	16	38.1	79	85.9	12.3	91.4	6.75	9.77
Sm	14.3	12.5	14.2	60.1	2.73	4.44	4.96	11.3	12	2.75	14.5	1.96	1.93
Eu	3.61	2.82	3.33	3.19	0.681	0.201	0.961	2.97	2.87	0.761	3.56	0.662	0.952
Gd	8.97	7.8	8.97	30.7	2.22	4.26	2.49	6.67	7.86	2.83	9.04	2.89	1.94
Tb	1.04	0.85	1.01	3.72	0.39	0.84	0.33	0.81	0.94	0.56	1.01	0.52	0.3
Dy	4.82	4.09	4.61	15.2	2.29	4.81	1.48	4.01	4.6	3.64	4.51	3.71	1.69
Ho	0.79	0.69	0.79	2.14	0.39	0.94	0.22	0.63	0.77	0.72	0.71	0.81	0.29
Er	2.12	1.78	2.05	5.03	1.13	2.75	0.58	1.58	1.94	2.01	1.8	2.41	0.79
Tm	0.276	0.237	0.295	0.644	0.19	0.42	0.092	0.2	0.255	0.31	0.228	0.372	0.114
Yb	1.57	1.52	1.74	3.58	1.26	2.71	0.65	1.24	1.65	2.08	1.39	2.48	0.72
Lu	0.229	0.228	0.247	0.466	0.17	0.422	0.104	0.182	0.287	0.328	0.209	0.37	0.106
Eu/Eu*	0.97	0.87	0.90	0.23	0.85	0.14	0.84	1.05	0.90	0.83	0.95	0.85	1.50
A/CNK	0.75	0.76	0.62	1.12	1.12	1.13	1.39	0.76	0.87	0.75	0.81	0.60	0.53

*Total iron as Fe₂O₃; A/CNK values, molar Al₂O₃/(CaO + Na₂O + K₂O).

5. 지화학적 특징

홍성 월현리복합체 내에 분포되는 트라이아스기 심성암류인 몬조니암, 암맥상 또는 암주상으로 산출되는 반화강암, 우백질 화강암, 섬장암, 몬조섬록암 및 염기성 관입암 등에서 총 13개의 시료를 신선도와 위치 대표성을 고려하여 선정한 후 주원소 및 미량성분조성과 희토류원소를 분석하였다(Fig. 2 and Table 2). 또한 기존에 발표된 트라이아스기 후기 홍성화강암, 섬장암 및 함정방회석 몬조니암의 암석 지화학적 자료들(Choi *et al.*, 2009; Williams *et al.*, 2009; Seo *et al.*, 2010; Kee *et al.*, 2011; S.W. Kim *et al.*, 2011)을 본 연구 자료와 비교하였다. 분석에 선정된 시료들은 현미경관찰을 통해 신선도를 재확인하고 텅스텐 카바이드 재질 분쇄기를 이용 분말시료로 만들었다. 전암 화학분석은 캐나다의 Activation Laboratories Ltd.에서 ICP-AES(Termo Jarrel-Ash ENVIRO II)과 ICP-MS(Perkin Elmer Optima)로 분석을 수행하였다.

몬조니암(228 Ma)과 섬장암(229 Ma)은 SiO_2 와 K_2O 의 성분범위가 각각 54.78~57.03 Wt.%와 5.05~5.87 Wt.%로 쇼쇼나이트(shoshonite)의 영역에 도시되며(Fig. 7a), QAP(석영-알칼리장석-사장석) 노름도표(Streckeisen, 1976)에서는 석영 몬조니암과 몬조니암의 영역에 도시된다(Fig. 7b). 몬조섬록암과 염기성 관입암은 SiO_2 의 성분범위는 각각 54.78~55.01 Wt.%와 47.79~49.47 Wt.%이며, K_2O 의 성분범위는 각각 1.78~5.14 Wt.%와 0.579~0.89 Wt.%로 몬조섬록암과 염기성 관입암의 대부분은 중칼륨 캘크-알칼라인(medium-K calc-alkaline)의 영역에 도시되지만 몬조섬록암 1개는 쇼쇼나이트의 영역에 도시된다(Fig. 7a). 몬조섬록암(227~235 Ma)과 염기성 관입암(228~237 Ma)은 QAP(석영-알칼리장석-사장석) 노름도표에서 몬조섬록암이 화강섬록암 영역에 도시되며, 염기성 관입암은 섬록암의 영역에 도시된다(Fig. 7b). 반화강암(222~230 Ma)과 우백질 화강암(223 Ma)은 SiO_2 와 K_2O 의 성분범위가 각각 70.16~76.21 Wt.%와 3.09~5.02 Wt.%로 고칼륨과 중칼륨 캘크-알칼라인의 영역 영역에 도시되며(Fig. 7a), QAP(석영-알칼리장석-사장석) 노름도표에서 화강암의 영역에 도시된다(Fig. 7b).

몬조니암, 섬장암, 몬조섬록암과 염기성 관입암들은 $\text{A}/\text{CNK}(\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}))$ 가 중메타알루미나질(metaluminous)로 1.1이하인 I 형에 해당한다. 하지만, 반화강암과 우백질 화강암은 1.1 이상인 S 형에 해당하는 과알루미나질(peraluminous)을 보여준다(Table 2).

Fig. 7. (a) Normative quartz-orthoclase-plagioclase composition diagram (after Streckeisen, 1976) and (b) K_2O - SiO_2 diagram for the Triassic plutons from the central part of the Wolhyeonri complex.

연구지역인 월현리복합체 중앙부의 트라이아스기 심성암류는 운석으로 표준화(Sun and McDonough, 1989)한 희토류 원소의 양상은 부(-)부터 정(+)-까지의 Eu 이상 정도($0.14 < \text{Eu}/\text{Eu}^* < 1.50$)를 다양하게 보여주며, 중희토류에서 경희토류까지의 경사 기울기($\text{La}/\text{Yb}_N = 1.4 \sim 83.2$)는 완만함에서 중간 정도의 급격함을 보여준다(Fig. 8: a, c). 특히, 반화강암의 시료들에서 강한 정의 Eu 이상치를 보여준다. 초생맨틀(Primitive mantle) 값으로 트라이아스기 심성암류의 미량원소 성분을 표준화(Sun and McDonough, 1989)한 거미 성분도(spider diagram)상에서는 전체적으로 Ta, Nb, P, Ti가 상대적으로 다른 원소들보다 결핍되어 있다. 저장력 원소들(large ion lithophile elements)에 해당하는 불호정성 원소인 Rb, Ba, Th 및 U은 부화되어 있고

Fig. 8. (a) Chondrite-normalized rare earth element (REE) patterns and (b) primitive mantle-normalized trace element distribution diagrams (Sun and McDonough 1989) for the Triassic plutons from the central part of the Wolhyeonri complex. The symbols as in Fig. 7.

고장력 원소들(high field strength elements)이 결핍되어 있는 특징을 보여준다(Fig. 8: b, d).

6. 트라이아스기 심성암류의 암석성인 및 지구조 환경

연구지역을 포함한 홍성지역 트라이아스기 심성암류의 SHRIMP U-Pb 저어콘 연대측정에 의한 관입시기는 237 Ma부터 222 Ma의 연대범위를 보여준다(Choi *et al.*, 2009; Williams *et al.*, 2009; Seo *et al.*, 2010; S.W. Kim *et al.*, 2011; Kee *et al.*, 2011). 각 암체별 관입시기를 알아보면 함정방휘석 문조니암은 232~230 Ma, 섬장암은 232~227 Ma, 문조니암은 228 Ma, 홍성 화강암은 233~226 Ma, 반화강암은 230~222 Ma, 문조섬록암은 235~227 Ma, 염기성 관입암은 237~228 Ma이다.

SHRIMP U-Pb 저어콘 연대측정의 기기 상태와 시료조건에 의하여 홍성지역 트라이아스기 심성암류의 전반적인 관입시기 추정이 다소 모호하지만, 공간적 산출양상, 산출규모와 관입시기를 볼 때 홍성 트라이아스기 심성암류의 저반은 여러 번의 마그마 활동에 의해 생성된 것으로 판단된다. 트라이아스기 심성활동의 초기에 섬장암-함정방휘석 문조니암은 주 구성암체인 홍성화강암과 함께 혼성이 되어 생성이 되었으며(Seo *et al.*, 2010), 이 시기에 암체 주변부에도 이들 암체들이 소규모 암주상으로 관입하였을 것으로 추정된다. 반화강암은 홍성 화강암체의 주 생성 이후 경계부에 암맥상 또는 주변부에 암주상으로 관입한 후기 화강암체로 사료된다. 한편, 소규모 암주상의 문조섬록암과 염기성 관입암은 홍성 트라이아스기 심성암류의 심성활동의 초기와 주 활동후기의 소규모 마그마 활동을 지시하는 것으로 판단된다.

Pearce *et al.*(1984)과 Pearce(1996)의 Y+Nb 대 Rb의 조구조 판별도에 기존에 보고된 홍성지역에 분포는 트라이아스기 섬강암, 함정방회석 문조니암과 홍성 화강암의 자료(Choi *et al.*, 2009; Williams *et al.*, 2009; Seo *et al.*, 2010; S.W. Kim *et al.*, 2011)와 본 연구에서 분석된 월현리복합체 중앙부의 트라이아스기 심성암류 자료를 도시하면 일부 시료가 다소 지구조 환경에서 벗어나지만 일반적으로 후충돌형 화강암(post-collisional granitoid) 환경의 영역에 도시된다(Fig. 9a). 또한 이들 자료를 Harris *et al.*(1986)의 Rb/30-Hf-Ta×30의 조구조 판별도에서는 반화강암은 후충돌형 화강암에 도시되며, 그 이외에 심성암류는 하나의 염기성 관입암을 제외하고 호상열도 화강암(volcanic arc granitoid) 환경에 도시된다(Fig. 9b).

현재의 연구와 최근의 연구결과에 의하면 홍성지역

의 트라이아스기 심성암류는 페름기(?)-트라이아스기 북중국판과 남중국판의 충돌 후 섭입형의 후충돌형 화성 활동과 관련될 가능성이 높다(Choi *et al.*, 2009; Williams *et al.*, 2009; Seo *et al.*, 2010; S.W. Kim *et al.*, 2011; J. Kim *et al.*, 2011; Oh, 2012). 특히, 홍성지역은 대륙충돌 증거암인 에클로자이트(ca. 231 Ma)와 중압에서 고압의 변성작용을 받은 렌즈상의 염기성 관입암체가 다수 산출된다(Oh *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2006; Zhai *et al.*, 2007; Kwon *et al.*, 2013). 한편, 중국의 충돌대인 수루지역에서도 트라이아스기 후충돌형인 섬강암과 섬록암이 산출된다(Yang *et al.*, 2005; Zhao *et al.*, 2012). 이러한 증거들은 중국의 대륙충돌대가 홍성지역에 연장되었을 가능성을 제시한다. 하지만 경기육괴에 산재되어 산출되는 섭입형의 후충돌형 심성암류에 분포에 의한 한국 내륙으로의 대륙충돌대의 경계부 연장논란(Cho *et al.*, 2007; Oh and Kursky, 2007; Kwon *et al.*, 2009; S.W. Kim *et al.*, 2011; Choi *et al.*, 2012; Oh, 2012; Kim, 2012)은 아직까지 많이 부각되고 있어 추후 자세한 연구가 필요하다.

7. 결 론

중생대 초기 대륙충돌대로 주목받고 있는 경기육괴 서남부에 분포하는 월현리지구조복합체 내 트라이아스기 심성암류는 237 Ma부터 222 Ma사이의 관입시기를 보여준다. 이들 심성암류는 소규모 암맥 혹은 암주의 형태로 산출하며, 문조니암, 반화강암, 섬강암, 문조섬록암과 염기성 관입암 등의 다양한 암상으로 구성된다. 이 트라이아스기 심성암류들의 고장력 원소들의 지구화학적 특징은 이 암석들이 대륙충돌 후 섭입형의 후충돌형 마그마 환경에서 유래되었음을 지시한다. 결론적으로 홍성지역에 분포하는 트라이아스기 심성암류들의 암석학, 지화학, 지질연대학적 특성은 중국의 대륙충돌대인 친링-다비-수루대에서 보고된 트라이아스기 심성암류들과 매우 유사하며, 이것은 한반도의 홍성지역과 중국대륙의 친링-다비-수루대는 트라이아스기 동안 지구조적으로 유사한 환경에 놓여있었음을 반영한다.

사 사

이 논문은 한국지질자원연구원의 기본사업인 ‘서부 경기지괴 지구조 진화 및 지질정보 구축’ 과제의 일환으로 수행되었다.

Fig. 9. (a) Rb/(Y + Nb) (Pearce *et al.*, 1984; Pearce, 1996) and (b) Rb-Hf-Ta (Harris *et al.*, 1986) for the Triassic plutons from the central part of the Wolhyeonri complex. The symbols as in Fig. 7.

참고문헌

- Cheng, C.-S. and Kim, N. (2012). Review of radiometric ages for Phanerozoic granitoids in the southern Korean Peninsula. *Jour. Petrol. Soc. Korea*, v.21, p.173-192.
- Cho, D.-L., Lee, S.R. and Armstrong, R. (2008). Termination of the Permo-Triassic Songrim (Indosinian) orogeny in the Ogcheon belt, South Korea: Occurrence of ca. 220 Ma post-orogenic alkali granites and their tectonic implications. *Lithos*, v.105, p.191-200.
- Cho, M., Kim, Y. and Ahn, J. (2007) Metamorphic evolution of the Imjingang Belt, Korea: Implications for Permo-Triassic collisional orogeny. *Int. Geol. Rev.*, v.49, p.30-51.
- 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.R., Lee, S.S., Lee, S.R., Lee, Y.S., Lee, H.J., Cho, D.R., Choi, B.Y., Han, J.K., Hyeon, H.J., Hwang, J.H. and Lee, J.A. (2012) Tectonic evolution of the western Gyeonggi Block and construction of geologic DB system. Basic Research Report of the Korea Inst. Geosci. Mineral Res., 420p.
- Cohen, K.M., Finney, S. and Gibbard, P.L. (2013) International Chronostratigraphic Chart. International Commission on Stratigraphy of the International Union of Geological Sciences.
- Choi, S.G., Rajesh, V.J., Seo, J., Park, J.W., Oh, C.W., Pak, S.J. and Kim, S.W. (2009) Petrology, geochronology and tectonic implications of Mesozoic high Ba^o/Sr granites in the Haemi area, Hongseong Belt, South Korea. *Isl. Arc*, v.18, p.266-281.
- 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 Sci. Rev.*, v.52, p.175-235.
- Harris, N.B.W., Perce, J.A. and Tindle, A.G. (1986) Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. In: Coward, M.P., Reis, A.C. (Eds.), *Collision Tectonics*. Blackwell, Oxford.
- 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 Inst. Geosci. Mineral Res., 242p.
- Kihm, Y.H. and Hwang, J.H. (2011) Geological report of the Gangneung-Jumunjin sheets (1:50,000). Daejeon, Korea Inst. Geosci. Mineral Res., 62p.
- Kim, J.H. (1996) Mesozoic tectonics in Korea. *Jour. Southeast Asian Earth Sci.*, v.13, p.251-265.
- Kim H.S. (2012) Metamorphic and deformation of the Late Paleozoic Pyeongan Supergroup in the Taebaeksan Basin: reviews on the Permo-Triassic Songrim orogeny. *Jour. Petrol. Soc. Korea*, v.21, p.151-171.
- Kim, J., Yi, K., Jeong, Y.-J. and Cheong, C.-S. (2011) Geochronological and geochemical constraints on the petrogenesis of Mesozoic high-K granitoids in the central Korean peninsula. *Gondwana Research* v.20, p.608-620.
- Kim, S.W. and Kee, W.-S. (2010) Geochronology and geochemical characteristics of metavolcanics from the Wolhyeonri tectonic complex in the Hongseong area, SW Gyeonggi Massif. *Jour. Geol. Soc. Korea*, v.46, p.453-471.
- Kim, S.W. and Koh, H.J. (2010) Petrochemistry of garnet-bearing metabasite in marble at Shinri area in Hongseong and its tectonic implication. *Jour. Petrol. Soc. Korea*, v.19, p.209-225.
- Kim, S.W., Kwon, S., Koh, H.J., Yi, K., Jeong, Y. and Santosh, M. (2011) Geotectonic framework of Permo-Triassic magmatism within the Korean Peninsula. *Gondwana Res.*, v.20, p.865-889.
- 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. (2006) 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*, v.92, p.357-377.
- Kim, Y.B., Choi, S.J., Chwae, U. and Kim, Y.J. (2012) Geological report of the Gimje sheet (1:50,000). Daejeon, Korea Inst. Geosci. Mineral Res., 32p.
- 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*, v.160-161, p.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 Planet. Sci. Lett.*, v.279, p.340-349.
- Lee, B.J., Kim, Y.B. and Kee, W.S. (2006) Geological report of the Gisan sheet (1:50,000). Daejeon, Korea Inst. Geosci. Mineral Res., 39p.
- Lee, S.H. and Kim, S.S. (1963) Explanatory text of the Geological map of Hong Song Sheet. *Geol. Sur. Korea*, 33p.
- Ludwig, K.R. (2008) User's manual for Isoplot 3.6: a geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley, CA, Berkeley Geochronology Center Special Publication, v.4, 77p.
- Ludwig, K.R. (2009) SQUID 2: a user's manual. Berkeley, CA, Berkeley Geochronology Center Special Publication, n.2, 100p.
- Oh, C.W. (2012) The Tectonic evolution of South Korea and northeast Asia from Paleoproterozoic to Triassic. *Jour. Petrol. Soc. Korea*, v.21, p.99-114.
- 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. *Jour. Geol.*, v.113, p.226-232.
- Oh, C.W. and Kusky, T.M. (2007) The late Permian to Triassic Hongseong-Odesan collision belt in South Korea, and its tectonic correlation with China and Japan. *Int. Geol. Rev.*, v.49, p.636-657.
- Pearce, J.A. (1996) Sources and settings of granitic rocks. *Episodes*, v.19, p.120-125.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W. and Tindle, A.G. (1984) Trace element discrimination diagrams for the tectonic

- interpretation of granitic rocks. *Jour. Petrol.*, v.25, p.956-983.
- Peng, P., Zhai, M., Guo, J., Zhang, H. and Zhang, Y. (2008) Petrogenesis of Triassic postcollisional syenite plutons in the Sino-Korean craton: an example from North Korea. *Geol. Mag.*, v.145, p.637-647.
- Sagong, H., Kwon, S.-T. and Ree, J.-H. (2005) Mesozoic episodic magmatism in South Korea and its tectonic implication. *Tectonics*, v.24. doi:10.1029/2004TC001720.
- Song, K.Y., Park, S.-I. and Cho, D.-L. (2011) Geological report of the Sokcho-Yangyang sheet (1:50,000). Daejeon, Korea Inst. Geosci. Mineral Res., 68p.
- Seo, J., Choi, S.-G. and Oh, C.W. (2010) Petrology, geochemistry, and geochronology of the post-collisional Triassic mangerite and syenite in the Gwangcheon area, Hongseong Belt, South Korea. *Gondwana Res.*, v.18, p.479-496.
- 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 Res.*, v.8, p.539-552.
- Steiger, R. and Jger, E. (1977) Subcommission of geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmo-chronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, v.36, p.359-362.
- Streckeisen, A.L. (1976) To each plutonic rock its proper name. *Earth Sci. Rev.*, v.12, p.1-33.
- Sun, S.S. and McDonough, W.F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalt: implications for mantle composition and process. In: Saunders, A.D., Norry, M.J. (Eds), *Magmatism in the Ocean Basins*. Geol. Soc. London. Special Publ., v.42, p.313-345.
- Williams, I.S., 1998. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe. In: McKibben, M.A., Shanks, W.C.III., Ridley, W.L.(eds.), *Applications of Microanalytical Techniques to Understanding Mineralizing Processes*. Society of Economic Geologists, Socorro, Rev. Econ. Geol., 7, 1-35.
- 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*, v.107, p.239-256.
- Yang, J.-H., Chung, S.-L., Wilde, S.A., Wu, F.-Y., Chu, M.-F., Lo, Q.-H. and Fan, H.-R. (2005) Petrogenesis of post-orogenic syenites in the Sulu Orogenic Belt, East China: geochronological, geochemical and Nd-Sr isotopic evidence. *Chem. Geol.*, v.214, p.99-125.
- Zhai, M., Guo, J., Li, Z., Chen, D., Peng, P., Li, T., Hou, Q. and Fan, Q. (2007) Linking the Sulu UHP belt to the Korean Peninsula: evidence from eclogite, Precambrian basement, and Paleozoic sedimentary basins. *Gondwana Res.*, v.12, p.388-403.
- Zhao, Z.-F., Zheng, Y.-F., Zhang, J., Dai, L.-Q., Li, Q. and Liu, X. (2012) Syn-exhumation magmatism during continental collision: Evidence from alkaline intrusives of Triassic age in the Sulu orogen. *Chem. Geol.*, v.328, p.70-88.

2013년 7월 26일 원고접수, 2013년 9월 15일 1차수정,
2013년 10월 9일 게재승인