남한 지역 현생 화강암류의 연대측정 결과 정리

정창식* · 김남훈

한국기초과학지원연구원 오창센터

Review of Radiometric Ages for Phanerozoic Granitoids in Southern Korean Peninsula

Chang-sik Cheong* and Namhoon Kim

Korea Basic Science Institute Ochang Center, 162 Yeongudanji-ro, Ochang-eup,
Cheongwon-gun, Chungbuk 363-883, Korea

요 약: 남한 지역에 분포하는 현생 화강암류의 연대측정 결과를 정리하였다. 경기육괴 29개, 옥천대 36개, 영남육괴 13개, 경상분지 20개 등 총 98개 지점의 연대에 대하여 보고된 자료를 검토하여 신뢰도를 평가하고 가장 대표성 있는 자료를 선별하였다. 고생대 화강암으로는 경상분지 북부에 장사리와 영덕 암체가 분포하고 있으며 영덕 암체 내에 포획암으로 잡혀 있는 섬록암의 최고연대가 265 Ma까지 보고되므로 시추코어 자료와 함께 고려할 때 페름기 초부터 한반도 남동부에서 섭입환경과 연관되어 활발한 화성활동이 있었음을 알 수 있다. 트라이아스기 초기에는 영남육괴 상주-김천-안동-청송 지역에서 역시 섭입 환경과 관련된 토날라이트-트론제마이트-화강섬록암-몬조나이트질의 화성활동이 일어났다. 트라이아스기 후기에는 경기육괴 남서부와 옥천대 중부를 중심으로 후충돌형 쇼쇼나이트 내지 high-K 계열 화강암과 A-형 알칼리 화강암의 관입이 있었다. 유라기 초기 화강암류는 영남육괴 중부와 경기육괴 북동부 설악산 지역, 경상분지 북부에 분포하며 경기육괴 나머지 지역과 옥천대 지역에는 유라기 중기 화강암류가 주를 이룬다. 이러한 차이는 유라기 초기와 중기에 해구의 위치, 해양판의 침강각 또는 섭입각도가 달랐기 때문으로 생각된다. 유라기 후기부터 백악기 초까지의 화성활동 휴지기를 거쳐 백악기 후기부터 경상분지 내에서 집중적인 화강암의 관입이 있었다. 경상분지 밖에서는 110 Ma 내외에 경기육괴 남서부와 중부에서, 또 90 Ma 내외에 설악산, 무암사, 월악산, 속리산 지역 등 경기육괴 북동부와 옥천대 중부에서 화강암의 관입이 일어났는데, 선백악기 화강암류에 비해 지하 천부에 정치하였다. 고제3기 화강암은 경주 지역을 중심으로 동해안 지역에 제한적으로 분포한다.

핵심어: 남한, 현생, 화강암, 연대측정

Abstract: Previous age data were reviewed for 98 sites of Phanerozoic granitoids in the southern part of the Korean Peninsula. Subduction-related granitic magmatism has occurred in southeastern Korea since Early Permian. In the middle part of the Yeongnam massif, arc-related tonalites, trondhjemites, granodiorites, and monzonites were emplaced during Early Triassic. After Middle Triassic continental collision in central Korean Peninsula, post-collisional shoshonitic and high-K series and A-type granitoids were emplaced in the southwestern Gyeonggi massif and central Okcheon belt during Late Triassic. Early Jurassic calc-alkaline granitoids are mostly distributed in the middle part of the Yeongnam massif and Mt. Seorak area, northeastern Gyeonggi massif. On the other hand, Middle Jurassic calc-alkaline granitoids pervasively occur in the Okcheon belt and central Gyeonggi massif. This selective distribution could be attributed to the change in the position of trench, subduction angle, or the direction of subduction. Most Cretaceous and Paleogene granitoids are distributed in the Gyeongsang basin, with the latter emplaced

*Corresponding author
Tel: 043-240-5170
E-mail: ccs@kbsi.re.kr

exclusively along the eastern coastline. Outside the Gyeongsang basin, Cretaceous granitoids emplaced in relatively shallow depth occur in the Gyeonggi massif and central Okcheon belt.

Key words: Southern Korean Peninsula, Phanerozoic, Granitoids, Age data

서 언

화강암질암은 대륙지각의 주 구성 암석으로 다양한 지구조적 환경에서 만들어지지만(예: Barbarin, 1999), 활동성 대륙 연변부가 가장 중요한 생성 장소이다. 남한 지역의 1/3 이상은 현생 화강암류로 이루어져 있으며, 이는 현생이온 동안 남한 지역이 섭입 환경에 크게 지배받았음을 시사한다. 한반도, 특히 그 남동부는 중국 남동부에서 러시아 극동 지역까지 거의 연속적으로 이어지는 서부 환태평양 화강암대(Takahashi, 1983; Kinoshita, 1995; Li, 2000; Sagong et al., 2005)의 일부분으로 대륙지각의 성인과 진화 과정을 연구하는데 있어서 중요한 위치를 점하고 있다.

다른 지질학적 연구도 마찬가지로 화강암을 연구하는데 있어서 연대측정의 중요성은 더 이상 강조할 필요가 없다. 일반적으로 화강암질 마그마의 생성은 지구조적 사건에 직간접적으로 관련되며 따라서 화강암류의 성인과 관련된 어떠한 지구조적 해석도 연대측정 결과 없이는 유효하지 않다.

우리나라 화강암류에 대한 절대연대 측정은 김옥준(1971)으로 거슬러 올라간다. 그는 남한 지역 37개 화강암체로부터 분리한 흑운모와 K-장석을 주 대상으로 일본 도호쿠 대학에서 K-Ar 연대측정 결과를 얻었다. 이 자료는 기본적으로 냉각연대(cooling age)지만 한반도에 분포하는 주라기 화강암의 존재를 처음으로 정량적으로 확인하였다는데 의의가 있다. 이후 미국에서 분석된 Rb-Sr 자료로부터 한반도 남동해안 화강암의 백악기 연대(약 100 Ma, Hurley et al., 1973)와 서울화강암의 주라기 연대(161±1 Ma, Fullagar and Park, 1975)가 보고된 바 있으며 1980 년대에 들어서는 국내 최초로 자원개발연구소(현 한국지질자원연구원)에 도입된 열이온화질량분석기(TIMs; thermal ionization mass spectrometer)를 이용하여 Rb-Sr 연대가 보고되기 시작하였다. 열이온화질량분석기는 1990년에 기초과학연구지원센터(현 한국기초과학지원연구원)에도 도입되어 중생대 화강암류를 중심으로 많은 수의 Rb-Sr, U-Pb 연대가 보고되었다. 2008년 한국기초과학지원연구원 오창센터에

설치된 고분해능이차이온질량분석기(SHRIMP; Sensitive High Resolution Ion Microprobe)는 광물 표면연대 측정을 통해 한반도, 나아가 동아시아 지역의 지구조 발달사를 해석하는데 있어서 크게 기여할 것으로 기대되고 있다.

이 논평에서는 이때까지 발표된 남한 지역 현생이온 화강암류의 연대를 정리하고 일부 서로 일치하지 않는 연대측정 결과에 대해서는 가능한 한 차이가 나게 된 원인을 밝혀 신뢰성을 평가함으로써 향후 화강암 관련 연구에 참고가 되고자 한다. 다만 지면의 제한과 자료 접근의 어려움으로 인해 이때까지 보고된 수많은 연대측정 결과를 여기에서 모두 언급하지는 않았으며, 자료의 대표성을 정해야 하는 경우에는 일반적으로 알려져 있는 각 연대분석법의 상대적인 안정성과 최초 보고 시점을 우선적으로 고려하였음을 먼저 밝혀 둔다.

정리 방법

이 논평에서는 화강암질 마그마의 생성이 지구조 환경과 관련된다는 점에서 남한 지역을 경기육괴, 옥천대, 영남육괴 및 경상분지 등 4군데 지구조 단위로 나누어서 서술한다. 보고된 연대 중 동위원소계의 폐쇄온도(closure temperature)가 화강암질 마그마의 합수 고상선 온도(wet solidus temperature)보다 낮은 Ar 연대나 휘선티랙(fission track) 연대 등은 고려하지 않았다. 남한 지역 화강암류의 분포가 크게는 북동-남서 방향을 따른다는 점을 고려하여 대체로 북동 방향부터 GM(경기육괴), OB(옥천대), YM(영남육괴), GB(경상분지)로 시작하는 일련번호를 부여하였다(Fig. 1). 옥천대와 경기육괴의 경우 그 경계를 따라 큰 주라기 화강암질 저반이 관입하여 있어서 연대측정 결과가 보고된 몇몇 시료의 지구조적 위치를 정하기가 다소 애매한 경우는 있었다. 지질도 상에서 경계가 명확하게 정의되는 화강암체는 기본적으로 하나의 심성암체로 간주하고 일련번호를 주었으나 영광-김제부터 대전-청주를 거쳐 강릉-속초 지역에 이르는 큰 화강암질 저반의 경우 다양한 암상과 연대를 보이기 때문에

Fig. 1. Locations of reviewed sites for Phanerozoic granitoids in southern Korean Peninsula.

분석된 시료의 지역적 위치에 따라 번호를 달리 부여하였다. 앞으로의 논의에 있어서 TIMS와 SHRIMP U-Pb 광물연대의 경우 모핵종인 ^{235}U 의 상대적으로 짧은 반감기로 인해 현생이연 동안 ^{207}Pb 양의 변화 폭이 매우 작기 때문에 조화적인(concordant) 자료에 대한 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 연대를 기준으로 한다.

결 과

경기육괴 화강암류 북동부

GM-1: 창암점도폭(김유봉 외, 2010)에서 속초화강암으로 명명된 조립질의 흑운모 화강암으로 $87.1 \pm 0.6 \text{ Ma}$

의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대가 보고되었다.

GM-2: 창암점도폭(김유봉 외, 2010)에서 각섬석 흑운모 화강암으로 분류된 암체로 182.1 ± 1.4 Ma의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대가 보고되었다.

GM-3: 설악산도폭(기원서 외, 2010a)에서 오색화강암으로 명명된 함석류석 흑운모 화강암으로 3개 지점에서 198.6 ± 4.7 Ma, 192.1 ± 4.5 Ma, 189.3 ± 2.6 Ma의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대가 보고되어 화성활동이 약 10 Ma에 걸쳐서 진행되었음을 알 수 있다.

GM-4: 설악산도폭(기원서 외, 2010a)에서 오색화강암으로 명명된 함석류석 복운모 화강암으로 183.4 ± 3.9 Ma의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대가 보고되었다.

GM-5: 설악산도폭(기원서 외, 2010a)에서 가리봉화강암으로 명명된 중립 내지 조립질의 반상 각섬석 흑운모 화강암으로 엽리를 보이지 않는 괴상의 시료에 대해 181.5 ± 1.6 Ma, 엽리를 보이는 시료에 대하여 175.6 ± 2.8 Ma의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대가 보고되었다.

GM-6: 설악산도폭(기원서 외, 2010a)에서 흑운모 화강암으로 분류된 조립질의 등립질 암석으로 171.2 ± 2.8 Ma의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대가 보고되었다.

GM-7: 설악산도폭(기원서 외, 2010a)에서 화강섬록암으로 분류되었으며 염기성 내지 중성 포획체를 많이 함유한다. 171.1 ± 4.6 Ma의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대가 보고되었다.

GM-8: 설악산화강암으로 명명된 조립 내지 중립질의 담홍색을 띠는 흑운모 화강암으로 미아로리틱 정동(miarolitic cavity)을 가져 천부 관입체임을 지시한다. 설악산도폭(기원서 외, 2010a)과 창암점도폭(김유봉 외, 2010)에서 각각 88.7 ± 0.8 Ma와 89.2 ± 0.9 Ma의 오차범위 내에서 일치하는 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대가 보고되었다. 이 연대는 속초화강암(GM-1)의 연대와 오차범위 내에서 일치할 뿐 아니라 설악산도폭(기원서 외, 2010a)의 화강반암, 귀매기청화강암, 응회암, 그리고 창암점도폭(김유봉 외, 2010)의 세존봉응회암, 화강섬록반암 및 산성맥암에서도 반복적으로 확인된다.

GM-9: 인제도폭(최범영 외, 2009)에서 인제화강암으로 명명된 중립 내지 조립질의 복운모 화강암으로서 설악산도폭(기원서 외, 2010a)에서 169.6 ± 2.0 Ma의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대가 보고되었다.

GM-10: 만대리도폭(송교영과 조등룡, 2009)에서 해안화강암으로 명명된 중립질의 각섬석 흑운모 화강암

으로 고철질 미립 포유암(MME; Micro Mafic Enclave)를 흔히 가진다. 167 ± 2 Ma의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대가 보고되었다.

GM-11: 소위 양구화강암으로 명명된 암체로서 흑운모 화강암과 복운모 화강암 등으로 구성되며 인제도폭(최범영 외, 2009)에서 172.2 ± 2.5 Ma의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대가 보고되었다.

GM-12: Sagong et al.(2005)의 G21번 시료로 소위 홍천화강암으로 불리는 중립질의 반상 흑운모 화강암이며 스핀에 대한 TIMS U-Pb 연대측정에 의해 162.2 ± 1.9 Ma의 연대가 보고되었다. Jwa et al.(1990)에 의하면 홍천화강암은 각섬석 흑운모 화강섬록암, 반상 흑운모 화강암, 등립질의 흑운모 화강암, 복운모 화강암 등의 다양한 암상을 보이며 각섬석 흑운모 화강섬록암의 Rb-Sr 전암 자료로 212.0 ± 26.6 Ma의 연대가 보고되었다. 그러나 Jwa et al.(1990)의 Rb-Sr 등시선도에서 나머지 세 암상의 자료는 매우 분산되며, 212 Ma의 연대 또한 불균질한 지각 물질과의 혼입에 의해 정확한 관입시기를 지시하지는 않는 것으로 판단된다.

GM-13: 인제도폭(최범영 외, 2009)에서 함강리화강암으로 명명된 소규모 암체로 심한 압쇄작용을 받은 흑운모 화강암이다. 190.3 ± 1.5 Ma의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대가 보고되었다.

이상에서 살펴본 바와 같이 경기육괴 북동부의 현생 화강암류에 대해서는 쥬라기 초기-중기(199~162 Ma)와 백악기 후기(약 89 Ma)의 관입 연대가 보고되었다. Min and Kim(1996)에 의해 설악산 지역 화강암류의 쥬라기와 백악기 Rb-Sr 전암연대가 보고된 바 있으나 MSWD(Mean Sum of Weighted Deviations) 값이 큰 오시선(errorchron) 연대였다. 이후 조문섭 외(2008)에 의하여 173.7 ± 2.0 Ma와 89.4 ± 1.6 Ma의 SHRIMP 저어콘 연대가 보고되어 설악산 지역에 쥬라기와 백악기 화강암이 함께 분포한다는 점이 명확해졌으며 최근 한국지질자원연구원의 지질도폭조사에 의해 상세한 화강암류의 관입 시기가 알려지게 되었다.

중부

GM-14: 김화도폭(송교영과 조등룡, 2007)에서 함석류석 복운모 화강암에 대한 170.5 ± 2.3 Ma의 SHRIMP 모나자이트(monazite) U-Pb 연대와 소규모 거반정질 화강암에 대한 232.2 ± 1.8 Ma의 SHRIMP

저어콘 U-Pb 연대가 보고되었다.

GM-15: 흔히 화천화강암으로 불리는 암체로서 남서부의 중립질 운모 화강암과 북동부의 반상 흑운모 화강암으로 나뉘며 전자가 후자를 관입한다(사공희 외, 1997). 남서부 암체는 석류석을 함유하기도 하며 Rb-Sr 전암자료로부터 172.0 ± 6.8 Ma의 관입시기가 보고되었다(Kwon et al., 2006). 이 연대는 모나자이트 CHIME(CHEMical Th-U-total Pb Isochron METHod) 연대(172 ± 5 Ma; Cho et al., 1996)와 잘 일치한다.

GM-16: 지포리도폭(황재하와 김유홍, 2007)에서 명성산화강암으로 명명된 조립질의 각섬석 흑운모 화강암이다. 미아로리틱 정동(miarolitic cavity)을 가져 천부 관입체임을 지시하며 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대 측정 결과는 112 ± 2 Ma이다.

GM-17: Kim et al.(1999)에서 KJ-36번 사창리 반상 화강암으로 불린 암체로서 164.7 ± 2.4 Ma의 TIMS 저어콘 U-Pb 연대가 보고되었는데, 콘코디아(concordia) 그림에서 디스코디아(discordia) 선의 하부 교차점에 의해 정의된 연대이다.

GM-18: Kim et al.(1999)에서 KJ-35번 오타리반려암으로 불린 암체로서 166.2 ± 1.2 Ma의 TIMS 저어콘 U-Pb 연대가 보고되었다.

GM-19: 기산도폭(이병주 외, 2006)에서는 K-장석 거정을 가지는 흑운모 화강암에 대하여 237 ± 1 Ma의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대를 보고하였다. 이 암체는 청평도폭(김정환 외, 1981)에서도 반상화강암으로 분류되어 있다.

GM-20: 양평 암체에 해당되며 반상 화강암, 섬록암, 반려암 등 다양한 암상을 보인다. Williams et al.(2009)은 석영 몬조나이트(monzonite)에 대하여 231.8 ± 2.9 Ma, 각섬석 반려암에 대하여 231.1 ± 2.8 Ma의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대를 보고하였으며, Kim S.W. et al.(2011)은 같은 방법으로 반상 화강암에 대하여 232.2 ± 3.2 Ma, 반려암에 대하여 232.6 ± 4.0 Ma, 섬록암에 대하여 231.9 ± 4.1 Ma를 보고하였다. 이들 연대는 모두 오차 범위 내에서 일치하여 약 231 Ma에 반려암에서 화강암질의 넓은 화학 조성에 이르는 화성활동이 있었음을 지시한다.

GM-21: Kim J. et al.(2011)의 JC061116-4번에 해당되는 흑운모 화강암으로 178.1 ± 1.8 Ma의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대가 보고되었다.

GM-22: Kim J. et al.(2011)의 JC061116-6번에 해당되는 흑운모 화강암으로 172.8 ± 1.2 Ma의 SHRIMP

저어콘 U-Pb 연대가 보고되었다.

GM-23: Sagong et al.(2005)의 IC04번 시료로 각섬석 흑운모 화강섬록암이며 스핀에 대한 TIMS U-Pb 연대측정 결과는 167.0 ± 1.5 Ma이다.

GM-24: Sagong et al.(2005)의 AS03번 시료로 엽리를 보이는 반상 각섬석 흑운모 화강암이며 스핀에 대한 TIMS U-Pb 연대측정 결과는 170.1 ± 1.8 Ma이다.

경기육괴 중부에서는 김화, 청평, 양평 지역에서 트라이아스기의 연대를 가지는 화강암이 산출되는데 양평 암체는 반려암-섬록암-화강암에 이르는 넓은 화학 조성 변화를 보인다. 그 외 대다수 현생 화강암류는 쥬라기 중기에 집중되는 연대 분포를 보이는데 예외적으로 연천도폭과 지포리도폭에 걸쳐 산출되는 명성산화강암의 연대가 백악기 전기에 해당된다. 경계가 잘 정의된 심성암체 중에서는 춘천화강암의 연대가 명확하게 밝혀져 있지 않다. 이에 대해서는 진명식 외(1993)가 196 ± 9 Ma의 Rb-Sr 전암연대를 보고하였으나 Rb-Sr 등시선도의 자료 분산이 심할 뿐 아니라 실질적으로는 춘천화강암 북부에 위치하는 화천화강암의 자료에 의해 연대가 정의되었기 때문에 현재로서는 정확한 연대로 받아들이기 어렵다.

남서부

GM-25: Sagong et al.(2005)의 SP03번 시료로 서울화강암으로 불리는 중립질의 흑운모 화강암이며 스핀에 대한 TIMS U-Pb 연대측정 결과는 170.1 ± 3.2 Ma이다. SP03 시료는 서울-의정부-포천으로 이어지는 화강암체의 중부 지역에서 채취되었는데, 이 지역에 대하여 Kwon et al.(1999)이 보고한 167 ± 19 Ma의 Rb-Sr 전암연대를 확인한 셈이다. Sagong et al.(2005)의 SP03번 시료 스핀 연대는 Kwon et al.(1999)이 서울화강암의 북동부 시료에 대하여 보고한 170.0 ± 5.2 Ma의 Rb-Sr 전암연대와 잘 일치한다. 이 연대는 서언에서 소개한 Fullagar and Park(1975)의 서울화강암에 대한 연대(161 ± 1 Ma)보다 오차 범위를 초과하여 오래되었는데, 서로 다른 방법에 의해 확인된 약 170 Ma의 연대에 대한 신뢰도가 더 높다. 또 북한산의 화강암 시료에 대한 약 172 Ma의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대(조문섭, 개인통신)도 Sagong et al.(2005)의 스핀 연대를 확인시킨다. 의정부도폭(고희재와 송교영, 2005)의 서울화강암에 대한 SHRIMP 저어콘 연대측정 결과는 166.7 ± 1.3 Ma로 오차 범위를

고려한다면 Sagong et al.(2005)의 결과와 다르지 않다. 포천도폭(기원서 외, 2005)에서 184.0 ± 1.5 Ma로 보고된 SHRIMP 저어콘 연대는 약 170 Ma의 스피넬 U-Pb 및 전암 Rb-Sr 연대와 일치하지 않는데 주라기 초기와 중기 화강암이 실제로 암체 내에서 공존하는지, 아니면 저어콘 분석 자료의 처리를 재검토해 보아야 하는지 불확실하다.

GM-26: Kwon et al.(1995)에 의해서 A형 화강암 일 가능성이 보고된 관악산화강암이다. 이 암체에 대해서는 165.8 ± 4.7 Ma의 Rb-Sr 전암연대가 보고되었다(Kwon and Cheong, 1998).

GM-27: Sagong et al.(2005)의 NY01번 시료로 남양화강암이라 불리는 중립질의 흑운모 화강암이며 스피넬에 대한 TIMS U-Pb 연대측정 결과는 227.2 ± 3.3 Ma이다. 이 연대는 Kim S.W. et al.(2011)의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대측정에 의해서도 228.4 ± 1.2 Ma, 227.5 ± 1.0 Ma로 확인되었다.

GM-28: Sagong et al.(2005)이 강화도에서 채취한 KH23번 시료로 중립질의 각섬석 흑운모 화강섬록암이며 스피넬에 대한 TIMS U-Pb 연대측정 결과는 109.5 ± 1.4 Ma이다. 이 연대는 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대측정 결과(108.1 ± 1.1 Ma, 황재하와 김유흥, 2005)에 의하여 확인된다.

GM-29: Williams et al.(2009)은 홍성 지역의 반상 흑운모 화강암에 대하여 226.0 ± 2.2 Ma와 227.0 ± 2.4 Ma, 섬장암에 대하여 227.3 ± 2.4 Ma의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대를 보고하였으며, 화강암에 대해서는 Kim, S.W. et al.(2011)이 같은 방법의 연대(225.7 ± 3.0 Ma)로 확인하였다.

경기육괴 남서부에서는 남양, 홍성 지역의 트라이아스기 후기(약 227 Ma) 화강암과 섬장암의 관입이 특징적이며 포천-의정부-서울-관악산 지역에서 주라기 중기, 그리고 강화도에서 백악기 전기에 화강암의 관입이 있었다.

육천대 화강암류

북동부

OB-1: Sagong et al.(2005)의 440번 시료로 중립질의 각섬석 흑운모 화강섬록암이며 스피넬에 대한 TIMS U-Pb 연대측정 결과는 226.8 ± 1.9 Ma이다. 이 트라이아스기 암체의 정확한 산출 경계는 아직 확인되지 않고 있다.

OB-2: Sagong et al.(2005)의 426번 시료로 중립

질의 각섬석 흑운모 화강섬록암이며 스피넬에 대한 TIMS U-Pb 연대측정 결과는 165.0 ± 2.4 Ma이다.

OB-3: Sagong et al.(2005)의 423번 시료로 엽리가 약하게 발달된 중립질의 흑운모 화강암이며 스피넬에 대한 TIMS U-Pb 연대측정 결과는 170.0 ± 3.3 Ma이다.

OB-4: 오대산 지역의 맨저라이트(mangerite)에 대해서 Oh et al.(2006)은 페름기 말(약 256 Ma)의 관입 암체로 보았으나 정연중 외(2008a)는 단일입자 TIMS 저어콘 분석에 의해 228.7 ± 0.9 Ma로 보고하였다. 이 연대는 이후의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대측정 결과(227.2 ± 1.9 Ma, Kim S.W. et al., 2011; 234.2 ± 1.2 Ma, 김태성 외, 2011)에 의해 확인되었다.

OB-5: Sagong et al.(2005)의 408번 시료로 중립질의 반상 각섬석 흑운모 화강암이며 스피넬에 대한 TIMS U-Pb 연대측정 결과는 163.2 ± 1.9 Ma와 같다.

육천대 북동부에서는 트라이아스기 후기와 주라기 중기의 화강암 관입 시기가 확인된다.

중부

OB-6: Sagong et al.(2005)의 445번 시료로 중립질의 반상 각섬석 흑운모 화강섬록암이며 스피넬에 대한 TIMS U-Pb 연대측정에 의해 169.7 ± 1.6 Ma의 연대가 보고되었다.

OB-7: Kim J. et al.(2011)의 JC061115-5번 시료로 흑운모 화강암에 해당되며 172.1 ± 1.5 Ma의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대가 보고되었다.

OB-8: Kim J. et al.(2011)의 JC061115-8번 시료로 흑운모 화강암에 해당되며 167.8 ± 1.6 Ma의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대가 보고되었다.

OB-9: Sagong et al.(2005)의 404번 시료로 중립질의 각섬석 흑운모 화강섬록암이며 스피넬에 대한 TIMS U-Pb 연대측정 결과는 168.6 ± 1.5 Ma이다.

OB-10: Kim J. et al.(2011)의 JC061115-1a, 1b번 시료로 각각 흑운모 화강암과 그에 의해서 포획된 소규모 섬록암에 해당되며 1a 시료는 168.8 ± 1.5 Ma, 1b 시료는 224.5 ± 3.2 Ma의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대를 보인다.

OB-11: Sagong et al.(2005)의 105번 시료로 중립질의 흑운모 화강암이며 스피넬에 대한 TIMS U-Pb 연대측정 결과는 171.9 ± 1.7 Ma이다.

OB-12: 제천화강암이라고 불리는 암체이다. 이 암체는 남서부의 조립질 흑운모 화강섬록암과 그를 관

입하는 북동부의 세립질 각섬석 흑운모 화강섬록암으로 나누어지며(김용준, 1979) Kim J. et al.(2011)에 의하면 남서부 암체(JC061114-3)는 183.9 ± 1.6 Ma, 북동부 암체(JC061114-1)는 169.6 ± 1.8 Ma의 SHRIMP 저어콘 연대를 가져 야외관계를 잘 확인시킨다.

OB-13: Kim J. et al.(2011)의 JC061115-6번 시료로 흑운모 화강암에 해당되며 167.2 ± 2.0 Ma의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대가 보고되었다.

OB-14: Kim J. et al.(2011)의 0303CJ5번 시료로 충추화강암으로 불리는 흑운모 화강암에 해당되며 177.8 ± 1.8 Ma의 TIMS 스피인 U-Pb 연대와 170.1 ± 1.6 Ma의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대를 보인다. 스피인 연대는 포획물의 영향으로 오래된 겉보기 연대로 해석되었다.

OB-15: 무암사화강암으로 불리는 흑운모 화강암으로 미아로리틱 정동(mirolitic cavity)을 가져 천부 관입체임을 지시한다. Lee et al.(2010)은 Rb-Sr 전암법에 의해 88.2 ± 1.7 Ma를 보고하였다.

OB-16: 월악산화강암으로 불리는 흑운모 화강암으로 역시 미아로리틱 정동(mirolitic cavity)을 가져 천부 관입체임을 지시한다. 이 암체에 대해서는 85 ± 5 Ma (Na, 1994)와 89.6 ± 2.2 Ma (Lee et al., 2010)의 Rb-Sr 전암 연대가 보고되었다.

OB-17: Kim J. et al.(2011)의 0303DB72-1, 0303DB75번 시료로 조립 내지 중립질의 섬록암에 해당되며 228.2 ± 2.0 Ma와 230.1 ± 1.9 Ma의 오차 범위 내에서 서로 일치하는 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대가 보고되었다. 0303DB72-1번 시료는 SHRIMP 저어콘 연대보다 약간 더 오래된 스피인 U-Pb 연대를 보이는데, 역시 포획물의 영향으로 해석되었다.

OB-18: 속리산화강암으로 불리는 흑운모 화강암으로 미아로리틱 정동(mirolitic cavity)을 가져 천부 관입체임을 지시한다. Cheong and Chang(1997)에 의해 91 ± 6 Ma의 Rb-Sr 전암 연대가 보고되었고, 이후 94.8 ± 3.6 Ma의 Rb-Sr 전암 연대 (Lee et al., 2010)와 94.2 ± 2.1 Ma의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대(정창식, 미발표 자료)로 확인되었다.

OB-19: 이안화강암으로 불리는 엽리상의 알칼리 화강암으로 219.3 ± 3.3 Ma의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대가 보고되었다(Cho et al., 2008).

OB-20: 점촌화강암으로 불리는 각섬석 흑운모 화강섬록암으로 좌용주 외(1995)는 Rb-Sr 전암법에 의해 341 ± 105 Ma를 보고하였지만 스피인에 대한 TIMS

U-Pb 연대측정 결과는 224.0 ± 2.8 Ma이다(Sagong et al., 2005). Rb-Sr 전암 연대는 동위원소비 초기치의 균질성이나 폐쇄계 조건 등 방사기원 시스템에 의한 연대측정의 기본 조건이 만족되지 않았음을 보여 준다.

OB-21: 보은화강암으로 불리는 흑운모 화강암으로 좌용주 외(1995)는 Rb-Sr 전암법에 의해 170 ± 12 Ma를 보고하였지만 Cheong and Chang(1997)은 같은 방법으로 230 ± 11 Ma를 보고하였다. 이 암체는 이후 Ree et al.(2001)의 TIMS 스피인 U-Pb 연대측정에 의해 171.7 ± 1.4 Ma의 주라기 중기에 관입한 것으로 밝혀졌다. 두 Rb-Sr 자료의 연대 차이는 Cheong and Chang(1997)의 시료 선택에 문제가 있었음을 지시한다.

OB-22: 백록화강암으로 불리는 각섬석 흑운모 화강섬록암으로 점촌 암체와 유사한 암상이다. 좌용주 외(1995)는 326 ± 20 Ma의 Rb-Sr 전암 연대를 보고하였고 Cheong and Chang(1997)은 같은 방법으로 256 ± 16 Ma를 보고하였다. Ree et al.(2001)에 의해 보고된 TIMS 스피인 U-Pb 연대측정 결과는 222.7 ± 2.1 Ma이며 최근의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대측정 결과는 226.0 ± 3.9 Ma로 보고되었다(Kim, S.W. et al., 2011). 한편 Kim et al.(2003)에 의해 보고된 이 암체의 TIMS 저어콘 U-Pb 연대(206.3 ± 3.6 Ma)는 스피인 연대나 SHRIMP 저어콘 연대에 비해 오차범위를 초과하여 젊은데, 그 이유는 불확실하다. 잘못 보고된 Rb-Sr 연대는 점촌 암체의 경우와 마찬가지로 문제를 가졌을 것으로 생각된다.

OB-23: 수 cm 이상 크기의 K-장석 거정을 특징적으로 가지는 흑운모 화강암으로 청산화강암으로 불린다. Cheong and Chang(1997)은 216 ± 21 Ma의 Rb-Sr 전암 연대를 보고하였다. Ree et al.(2001)에 의해 보고된 TIMS 스피인 U-Pb 연대측정 결과는 216.9 ± 2.2 Ma이며 이 연대는 이후 보고된 TIMS 저어콘 U-Pb 연대(217.2 ± 3.1 Ma, Kim et al., 2003)와 일치한다. SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대는 224.8 ± 1.7 Ma로 보고되었다(Williams et al., 2009). 최근 저자들의 관찰에 의하면 청산화강암의 스피인은 수많은 포유물을 가지는데, 그 때문에 TIMS 스피인 연대와 SHRIMP 저어콘 연대가 차이를 가질 가능성이 있다.

OB-24: Kim S.W. et al.(2011)에 의해 용산 반상 화강섬록암으로 불린 암체로 청산, 백록 암체와 유사한 226.7 ± 4.1 Ma의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대측정

결과가 보고되었다.

OB-25: Kim J. et al.(2011)의 0210MW4번 시료로 흑운모 화강암에 해당되며 174.6 ± 2.7 Ma의 TIMS 스피인 U-Pb 연대가 보고되었다.

OB-26: Kim J. et al.(2011)의 0303DB4번 시료로 흑운모 화강암에 해당되며 174.6 ± 2.5 Ma의 TIMS 스피인 U-Pb 연대가 보고되었다.

OB-27: Sagong et al.(2005)의 G46번 시료로 중립 내지 조립질의 각섬석 화강암이며 스피인에 대한 TIMS U-Pb 연대측정 결과는 166.1 ± 2.0 Ma이다.

이상에서 보는 바와 같이 옥천대 중부 지역에서 분포상의 면적으로는 주라기 중기 암체가 주를 이루지만, 다수의 트라이아스기 암체가 확인된다. 북동-남서 방향으로 연속적으로 이어지는 북서부쪽 저반의 경우 대개 주라기 중기에 해당되지만 괴산 지역(OB-17)에서는 약 230 Ma에 정지한 비교적 큰 규모의 섬록암이 주라기 암체에 의해 관입당하면서 노출되어 있고 동일한 암상의 트라이아스기 섬록암은 OB-10 지점에서 소규모 포획암의 형태로 주라기 화강암에 의해 잡혀있다. 그리고 남동부쪽으로는 이안, 점촌, 백록, 청산, 용산 지역 암주상의 화강암체가 트라이아스기 후기(227~219 Ma)에 관입하였다. 특징적으로 백악기 말에 관입한 화강암이 무암사, 월악산, 속리산 지역에 분포하고 있는데, 그 암상과 관입 시기는 경기육괴 북동부에 있는 설악산화강암과 유사하다.

남서부

OB-28: 경기육괴와 옥천대 경계부 부여 지역의 화강암류로 엽리를 보이는 흑운모 화강암에 대해 178.8 ± 2.0 Ma, 괴상의 흑운모 화강암에 대해 166.6 ± 1.0 Ma, 그리고 알칼리 장석 화강암에 대해 164.7 ± 4.1 Ma의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대측정 결과가 보고되었다(Park et al., 2009).

OB-29: Sagong et al.(2005)의 207번 시료로 중립질의 반상 흑운모 화강암이며 스피인에 대한 TIMS U-Pb 연대측정 결과는 165.0 ± 2.1 Ma이다. 이 암체의 경계부에 있는 복운모 화강암에 대한 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대측정 결과(Kim et al., 2005)를 보면 저어콘 중심부는 약 170 Ma를 보이고 외곽부는 약 165 Ma를 보인다.

OB-30: Sagong et al.(2005)이 전주 지역에서 채취한 G02번 시료는 엽리를 보이는 중립질의 반상 흑운모 화강암이며 스피인에 대한 TIMS U-Pb 연대측

정 결과는 169.6 ± 1.5 Ma이다. 같은 암상에 대하여 172.7 ± 1.4 Ma, 엽리를 보이지 않는 우백질 화강암은 169.6 ± 1.8 Ma의 SHRIMP 저어콘 연대측정 결과가 보고된 바 있다(Lee et al., 2001).

OB-31: 순창화강암은 엽리를 잘 보이는 반상 흑운모 화강암으로 182.6 ± 8.0 Ma의 TIMS 저어콘 U-Pb 연대가 Turek and Kim(1995)에 의해 보고되었으나 부분적인 자료의 선택에 따른 불완전한 디스코디아 연대이다. 이후 179 ± 2 Ma의 CHIME 모나자이트 연대가 보고되었으며(Cho et al., 1999) Sagong et al. (2005)의 229번 시료는 174.9 ± 1.9 M의 TIMS 스피인 U-Pb 연대를 보인다. 최근의 SHRIMP 저어콘 연대측정 결과는 179.6 ± 0.8 Ma와 174.7 ± 1.7 Ma로(Jo, 2012) 엽리를 형성시킨 전단작용의 시기가 약 174 Ma 이후임을 지시한다.

OB-32: 이승렬 외(2003)는 김제 금산사 지역에서 전단 작용을 받은 각섬석 흑운모 화강섬록암과 변형 받지 않은 흑운모 화강암의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대를 각각 172.7 ± 1.4 Ma, 169.6 ± 1.8 Ma로 보고하여 전단 작용의 시기를 두 암체의 관입시기 사이로 제한하였다.

OB-33: 정연중 외(2008b)는 정읍 엽리상 화강암의 TIMS 스피인 U-Pb 연대를 172.9 ± 1.7 Ma로 보고하였다.

OB-34: Kim et al.(2003)은 영광 지역의 엽리상 화강암에 대하여 173.0 ± 1.7 Ma의 TIMS 저어콘 U-Pb 연대를 보고하였다.

OB-35: Sagong et al.(2005)의 211번 시료로 각섬석 흑운모 화강섬록암이며 스피인에 대한 TIMS U-Pb 연대측정 결과는 170.2 ± 1.7 Ma이다.

OB-36: 이승렬 외(2003)는 무안 지역에서 전단 작용을 받은 각섬석 화강섬록암과 각섬석 화강암의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대를 각각 176.3 ± 1.7 Ma, 165.8 ± 2.0 Ma로 보고하여 전단 작용의 시기를 각섬석 화강암의 관입 이후로 제한하였다.

옥천대 남서부 화강암류에 대해 보고된 연대측정 자료는 주라기 중기에 집중된다. 전체적으로 호남전단대를 따라 전단 작용을 받은 화강암의 연령은 179~166 Ma, 변형 받지 않은 화강암의 연령은 170~165 Ma로 주라기 중기에 주된 변형이 일어났으며 지역별로 전단 운동 시기는 다소의 차이를 보인다. 이는 호남전단대의 운동 시기를 여러 번으로 제한한 Cheong et al.(2006)의 연구 결과와 조화적이다.

영남육괴 화강암류

북동부

YM-1: 영주화강암으로 불리며 엽리가 잘 발달되고 토날라이트질에서 화강암질까지의 화학조성 변화를 보이는데, 대부분은 화강섬록암에 속한다(Lee et al., 1999). Rb-Sr 전암 연대는 267 ± 27 Ma로 보고되었으나(Lee et al., 1999) TIMS 스피인 U-Pb 연대는 169.4 ± 1.6 Ma (Sagong et al., 2005)와 171.3 ± 2.3 Ma(박계현 외, 2006)로 반복적으로 확인되었다. Lee et al. (1999)의 자료 역시 Rb-Sr 연대측정의 문제점을 잘 보여준다.

YM-2: 안동화강암으로 불리며 엽리를 잘 보이고 토날라이트질에서 화강암질까지의 화학조성 변화를 보인다(Lee et al., 1999). Rb-Sr 전암 연대는 361 ± 41 Ma로 보고되었으나(Lee et al., 1999) 연대의 의미는 없으며 TIMS 스피인 U-Pb 연대는 185.0 ± 1.7 Ma이다(Sagong et al., 2005).

영남육괴 북동부에서 엽리를 잘 보이며 큰 규모로 분포하는 안동과 영주 화강암질 저반은 주라기 초-중기에 관입하였다. 두 암체 사이에 있는 전단대의 운동 시기에 대해서는 압쇄암 내 저어콘 외곽부에 대한 SHRIMP U-Pb 연대측정에 의해 178 Ma 내외로 보고된 바 있으나(Kim S.W. et al., 2009) 이 자료가 변형시기를 직접적으로 지시할 수 있는지에 대해서는 추가적인 검토가 필요하다.

중부와 남서부

YM-3: Kim S.W. et al.(2011)은 상주 지역의 K-장석 거정을 함유한 화강섬록암과 엽리상 화강섬록암에 대하여 각각 240.1 ± 3.3 Ma와 238.8 ± 4.4 Ma의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대를 보고하였다.

YM-4: YM-3 암체의 서남부에 인접한 반상 화강섬록암에 대하여 Kim S.W. et al.(2011)은 230.6 ± 2.5 Ma와 228.3 ± 1.9 Ma의 재현성 있는 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대를 보고하였다. 이 보고는 이호선 외(2006)가 보고한 상주화강암(엽리가 발달된 세립질 흑운모 화강암 시료)의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대(226.1 ± 2.9 Ma)와 조화적이다.

YM-5: 박계현 외(2005)는 김천-성주-안의 지역에 산출되는 화강섬록암의 TIMS 스피인 U-Pb 연대를 보고하였다. 연대측정된 화강섬록암은 모두 부분적으로 엽리가 발달된 조립질의 각섬석 화강섬록암인데 김천 인근 3 시료의 결과는 198.5 ± 2.8 , 195.7 ± 2.4 , 190.6 ± 5.4

Ma로 오차 범위 내에서 서로 일치하지 않는다. 이 시료들의 채취 위치는 Sagong et al.(2005)의 217번 시료와 매우 인접해 있는데 그 시료의 스피인 연대는 184.9 ± 2.0 Ma로 박계현 외(2005)의 자료보다 젊다. 이러한 차이는 Kim J. et al.(2011)이 옥천대 OB-14, -17 지점에서 겪은 바와 같이 스피인 내 포유물의 영향 때문일 가능성이 있다. 박계현 외(2005)가 김천 남부 성주-안의 지역의 화강섬록암에 대해 보고한 스피인 연대는 199.1 ± 2.4 Ma와 200.8 ± 1.9 Ma인데 김천 인근 암체와 이 암체를 별개로 보아야 하는지, 아니면 이 자료 역시 포유물의 영향을 받은 것인지는 분명하지 않다. 현재로서 김천 지역 화강섬록암의 연대로 가장 신뢰할 만한 자료는 이호선 외(2006)가 보고한 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대인 188.2 ± 2.5 Ma로 판단된다.

YM-6: 박계현 외(2006)는 거창 지역의 조립질 복운모 화강암에 대하여 194.6 ± 2.6 Ma, 198.4 ± 2.5 Ma의 재현성 있는 TIMS 스피인 U-Pb 연대를 보고하였으며 한미 외(2010)의 SHRIMP 저어콘 연대측정에 의하면 화강암, 화강섬록암, 섬록암 등 다양한 암상에 대하여 대략 196~189 Ma 범위로 확인되었다.

YM-7: Turek and Kim(1995)은 함양 지역 엽리상 화강암(KH-4번 시료)의 TIMS 저어콘 U-Pb 연대를 219.2 ± 2.9 Ma로 보고하였는데 분석된 자료 중 콘코디아에서 가장 멀리 떨어진 자료를 제외한 디스코디아의 하부 교차점 연대로 재검토의 필요성이 있다. Turek and Kim(1995)의 엽리상 반려암(KH-2번 시료, 219 ± 3 Ma로 보고)과 섬록암(KH-5번 시료, 176.7 ± 6.2 Ma로 보고)에 대한 저어콘 U-Pb 자료는 매우 분산이 심하여 연대측정의 신뢰도가 낮다. Sagong et al.(2005)은 함양 지역의 각섬석 흑운모 화강섬록암에 대하여(224번 시료) 188.0 ± 3.3 Ma의 TIMS 스피인 U-Pb 연대를 보고하였으며, 이 연대는 시료 채취 지점 남서부에서 변암 암체로 불린 엽리상 우백질 화강암, 화강섬록암 내지 화강암의 SHRIMP 저어콘 연대($196 \sim 190$ Ma, Kee et al, 2010b)로 오차 범위 내에서 확인된다. Kim S.W. et al.(2011)은 엽리상 반상 화강섬록암에 대하여 232.2 ± 2.7 Ma의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대를 보고하였다. 따라서 이 암체는 K-장석 반정을 함유한 트라이아스기의 반상 화강섬록암과 반정을 가지지 않는 주라기 초기의 화강섬록암 복합 암체일 가능성이 높다.

YM-8: 박계현 외(2006)는 이 지점 반상 화강암과

화강섬록암에 대하여 각각 225.4 ± 4.1 Ma와 195.6 ± 1.8 Ma의 TIMS 스펀 U-Pb 연대를 보고하였다. YM-7, -8번 지점을 하나의 암체로 본다면, 반상 화강암의 연대는 YM-7 지점 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대보다 젊은 냉각연대일 가능성이 있다.

YM-9: 신원 지역의 엽리상 화강섬록암에 대하여 Kim and Turek(1996)은 188.9 ± 3.1 Ma의 TIMS 저어콘 U-Pb 연대를 보고하였으며 바로 남측의 소위 차황산섬장암과 울현리 엽리상 화강암에 대하여 각각 196.9 ± 1.3 Ma, 194.6 ± 2.3 Ma를 보고하였다. 이 중 차황산섬장암의 자료 외에는 디스코디아에 의해 정의된 연대인데, 차황산섬장암의 조화적인 연대는 박계현 외(2006)의 신원 엽리상 화강암에 대한 TIMS 스펀 연대(194.2 ± 2.4 Ma)와 잘 일치한다.

YM-10: 마천반려암 내지 몬조섬록암에 대해서는 Kim and Turek(1996)의 TIMS 저어콘 U-Pb 연대측정에 의해 223.3 ± 2.6 Ma의 연대가 보고되었으며 Kim S.W. et al.(2011)은 236.8 ± 3.4 Ma의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대를 보고하였다. 두 연대의 차이에 대한 원인은 명확하지 않다.

YM-11: 산청섬록암 내지 반려암에 대해서는 Kim and Turek(1996)의 TIMS 저어콘 U-Pb 연대측정에 의해 209.7 ± 2.3 Ma의 연대가 보고되었으며 이후 같은 방법의 203.8 ± 3.3 Ma(Kim et al. 2003)로 오차 범위 내에서 확인되었다. 이 중에서는 콘코디아에 찍히는 자료를 가지는 전자의 연대가 더 신뢰성이 높다고 판단된다.

YM-12: 남원화강암으로 불리며 각섬석 흑운모 화강섬록암, 반상 화강섬록암, 흑운모 화강섬록암, 복운모 화강암 등의 다양한 암상을 보인다(홍세선 외, 1988). Turek and Kim(1995)은 176 ± 3 Ma의 TIMS 저어콘 U-Pb 연대를 보고하였으나 부분적으로 취한 디스코디아에 의해 정의된 연대였으며 이후 복운모 화강암에 대한 CHIME 연대측정(Cho et al., 1999)에 의해 $181 \sim 178$ Ma가 보고된 바 있다. Sagong et al.(2005)은 각섬석 흑운모 화강섬록암에 대하여 183.1 ± 1.6 Ma의 TIMS 스펀 U-Pb 연대를 보고하였으며 이 연대는 최근 Jo(2012)의 SHRIMP 저어콘 연대측정 결과(185.6 ± 1.4 Ma)에 의해 확인되었다.

YM-13: 엽리를 잘 보이는 알칼리 화강암으로 대강 화강암으로 불린다. Turek and Kim(1995)은 212.3 ± 8.2 Ma의 TIMS 저어콘 U-Pb 연대를 보고하였으나 디스코디아의 분산이 다소 심한 편이다. 이후 CHIME

연대측정(Cho et al., 1999)에 의해 178 ± 2 Ma가 보고된 바 있으며 최근의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대측정 결과는 219.6 ± 1.9 Ma이다(Cho et al., 2008). 이로 볼 때 대강화강암의 모나자이트 CHIME 연대는 전단 운동의 시기를 지시할 가능성이 있다.

이상에서 본 바와 같이 영남육괴 중부와 남서부 지역에서는 특이하게 트라이아스기 중기부터 주라기 초기에 해당되는 현생 화강암의 연대만 확인된다. 이는 이때까지 살펴 본 다른 지역에서 주라기 중기의 화강암 연대가 주를 이루는 점과 매우 대조적이며 최근 박계현 외(2010)의 정리 결과를 확인시킨다.

경상분지 화강암류

북부

GB-1: 온정리화강암으로 불리는 중립 내지 조립질의 각섬석 흑운모 화강섬록암이며 83.4 ± 1.3 Ma의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대를 가진다(Yi et al., 2012b). 이 암체의 관입시기가 주라기인지 백악기에 해당되는지에 대해 논란이 있었으나(김옥준, 1971) 경상누층군 퇴적암이 온정리화강암과의 경계부에서 호온펠스(hornfels)화 한 것을 확인할 수 있다(정창식 외, 1998).

GB-2: 영해화강암으로 불리는 중립 내지 조립질의 섬록암으로 MME를 흔히 함유한다. Yi et al.(2012a)은 195.1 ± 1.9 Ma와 196.3 ± 1.6 Ma의 재현성있는 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대를 보고하였다. Kim et al.(2003)의 TIMS 저어콘 U-Pb 자료에 의해 177.8 ± 2.4 Ma로 관입시기가 보고된 백석리화강섬록암(KJ-66번 시료)이 이 암체에 해당되는 것으로 보이는데, 양자 간에 연대 차이가 나는 이유는 명확하지 않다.

GB-3: 영덕화강암으로 불리며 중립질의 K-장석 반정을 흔히 함유하는 각섬석 흑운모 화강섬록암이다. 이에 대하여 Cheong et al.(2002)이 241 ± 59 Ma의 Sm-Nd 광물연대를 보고한 이후, 그와 오차 범위 내에서 일치하는 TIMS 저어콘 U-Pb 연대(252.2 ± 2.9 Ma, Kim et al., 2003)와 TIMS 스펀 U-Pb 연대(244.5 ± 2.3 Ma, Sagong et al., 2005)의 보고가 있었다. 최근 Yi et al.(2012a)은 영덕 암체가 가지는 아다카이트(adakite)질의 지화학적 특징을 정리하고 252.9 ± 2.5 Ma에서 246.7 ± 2.1 Ma에 이르는 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대를 보고하였다.

GB-4: 삿갓봉화강암으로 불리는 중립 내지 조립질의 섬록암으로 MME를 흔히 함유한다. Yi et al.

(2012a)은 192.4 ± 1.6 의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대를 보고하였다.

GB-5: 장사리화강암으로 불리는 석영 장석질 암석으로 유생광물을 거의 가지지 않는다. 염기성 암석과 같이 산출되며 화강암에 대하여 257.3 ± 2.0 Ma, 그리고 반려암에 대하여 255.7 ± 1.4 Ma의 서로 일치하는 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대가 보고되었다(Yi et al., 2012a). 이 암체는 남한 지역에서 암주상의 노두 규모로는 유일하게 알려진 폐름기의 화강암이다.

GB-6: 청송화강암으로 불리는 반상 화강섬록암이다. 195.9 ± 2.0 Ma의 TIMS 스피너 U-Pb 연대가 보고되었으며(Sagong et al., 2005) 최근의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대측정 결과는 202.9 ± 1.2 Ma이다(정창식 외, 2011).

경상분지 내에는 주로 백악기-고제3기 암체가 분포한다는 점은 잘 알려져 있었으나 북부에서는 특이하게 폐름기 말-쥬라기 초에 관입한 화강암류들이 노출되어 있다.

중부와 남부

GB-7: 김근수 외(1995)에 의해 호암 암체로 불린 흑운모 화강암이며 39.7 ± 0.1 Ma의 Rb-Sr 전암 연대를 가진다.

GB-8: 김근수 외(1995)에 의해 오유리 암체로 불린 흑운모 화강암이며 59.5 ± 0.1 Ma의 Rb-Sr 전암 연대를 가진다.

GB-9: 김근수 외(1995)에 의해 덕동 암체로 불린 흑운모 화강암이며 45.6 ± 0.1 Ma의 Rb-Sr 전암 연대를 가진다.

GB-10: 김근수 외(1995)에 의해 대본 암체로 불린 화강섬록암이며 42.2 ± 0.1 Ma의 Rb-Sr 전암 연대를 가진다.

GB-11: 경주 지역에서 남산화강암으로 불리는 알칼리 화강암이다. Rb-Sr 전암 연대측정에 의하여 49.7 ± 0.1 Ma가 보고되었다(Kim and Kim, 1997).

GB-12: Kim and Kim(1997)에 의해 경주 지역의 불국사화강암으로 불린 각섬석 흑운모 화강섬록암 내지 흑운모 화강암으로 49.8 ± 0.1 Ma의 Rb-Sr 전암 연대가 보고되었다.

GB-13: 연양화강암으로 불리는 흑운모 화강암으로 67.1 ± 0.4 Ma의 Rb-Sr 전암 연대가 보고되었다(Na, 1994).

GB-14: Zhang et al.(2012)은 연양-양산 사이의

각섬석 흑운모 화강암에 대하여 71.1 ± 0.8 Ma에서 72.4 ± 0.7 Ma의 SIMS 저어콘 U-Pb 연대를 보고하였다.

GB-15: Lee et al.(1995)은 양산 지역의 흑운모 화강암에 대하여 70.6 ± 4.2 Ma의 Rb-Sr 전암 연대를 보고하였다.

GB-16: 윤성호 외(2005)는 금정산 지역의 화강섬록암, 각섬석 화강암, 미문상 화강암 등 다양한 암상에 대하여 69.6 ± 1.9 Ma의 Rb-Sr 전암 연대를 보고하였다.

GB-17: Lee et al.(1995)은 구포 지역의 흑운모 화강암에 대하여 68.8 ± 3.4 Ma의 Rb-Sr 전암 연대를 보고하였다.

GB-18: Lee et al.(1995)은 김해 지역의 각섬석 흑운모 화강암에 대하여 83.9 ± 9.0 Ma의 Rb-Sr 전암 연대를 보고하였다.

GB-19: Lee et al.(1995)은 마산 지역의 각섬석 흑운모 화강암에 대하여 100.1 ± 7.1 Ma의 Rb-Sr 전암 연대를 보고하였다.

GB-20: Lee et al.(1995)은 진해 지역의 흑운모 화강암에 대하여 70.5 ± 1.9 Ma의 Rb-Sr 전암 연대를 보고하였다.

경상분지 중남부에서는 백악기-고제3기 암체가 집중적으로 분포하며 특히 고제3기 암체는 경주와 인근 동해안 지역에 한정적으로 분포한다. 경상분지의 백악기 이후 화강암류에 대해서는 SHRIMP 저어콘 연대측정을 체계적으로 시행할 필요가 있다.

이상의 연대측정 결과 분석에 의하여 Table 1에 각 암체별로 정치 시기를 가장 잘 대표할 수 있는 자료를 선별하여 정리하였다. Table 1에서 SHRIMP와 TIMS 저어콘 연대의 오차는 2σ 수준이며 TIMS 스피너 연대의 경우 박계현 외(2005, 2006), Kim J. et al.(2011)은 2σ 수준, Sagong et al.(2005)은 1σ 수준으로 보고하였다. Rb-Sr 전암 연대는 Lee et al.(1995, 2010), Kwon et al.(1999, 2006)의 경우 2σ 수준으로 보고되었으며 나머지 경우는 불확실하거나 1σ 수준이다. Table 1의 자료를 기준으로 하여 Fig. 2에 폐름기-트라이아스기 초기, 트라이아스기 중기-후기, 쥬라기 초기, 쥬라기 중기, 백악기, 고제3기(65.5 Ma)로 나누어서 화강암류의 분포를 표시하였다. 시대의 경계는 2009년 미국지질학회의 연대표(Walker and Geissman, 2009)에 따라 트라이아스기 초기-중기(245 Ma), 트라이아스기-쥬라기(201.6 Ma), 쥬라기 초기-중기(176 Ma), 쥬라기-백악기(145.5 Ma), 백악기-고제3기(65.5 Ma)로 기준을 삼았다. 같은 암체로 암상도

Table 1. Summary of age data for Phanerozoic granitoids in southern Korean Peninsula.

Number	Locality	Rock type	Methodology	Age (Ma)	Uncertainty (Ma)	Reference
Gyeonggi massif						
Northeastern part						
GM-1	Sokcho	biotite granite	SHRIMP zircon U-Pb	87.1	0.6	Kim et al.(2010)
GM-2	Sokcho	hornblende biotite granite	SHRIMP zircon U-Pb	182.1	1.4	Kim et al.(2010)
GM-3	Mt. Seorak	garnet-bearing biotite granite	SHRIMP zircon U-Pb	198.6	4.7	Kee et al.(2010a)
GM-4	Mt. Seorak	garnet-bearing two mica granite	SHRIMP zircon U-Pb	183.4	3.9	Kee et al.(2010a)
GM-5	Mt. Seorak	porphyritic hornblende biotite granite	SHRIMP zircon U-Pb	181.5	1.6	Kee et al.(2010a)
GM-6	Mt. Seorak	biotite granite	SHRIMP zircon U-Pb	171.2	2.8	Kee et al.(2010a)
GM-7	Mt. Seorak	granodiorite	SHRIMP zircon U-Pb	171.1	4.6	Kee et al.(2010a)
GM-8	Mt. Seorak	porphyritic biotite granite	SHRIMP zircon U-Pb	88.7	0.8	Kee et al.(2010a)
GM-9	Inje	two mica granite	SHRIMP zircon U-Pb	169.6	2	Kee et al.(2010a)
GM-10	Haean	hornblende biotite granite	SHRIMP zircon U-Pb	167	2	Song and Cho(2009)
GM-11	Yangku	two mica granite	SHRIMP zircon U-Pb	172.2	2.5	Choi et al.(2009)
GM-12	Hongcheon	porphyritic biotite granite	TIMS sphene U-Pb	162.2	1.9	Sagong et al.(2005)
GM-13	Hapgangri	foliated biotite granite	SHRIMP zircon U-Pb	190.3	1.5	Choi et al.(2009)
Central part						
GM-14	Gimhwa	garnet two mica granite	SHRIMP monazite U-Pb	170.5	2.3	Song and Cho(2007)
GM-14	Gimhwa	porphyritic biotite granite	SHRIMP zircon U-Pb	232.2	1.8	Song and Cho(2007)
GM-15	Hwacheon	garnet two mica granite	CHIME monazite	172	5	Cho et al.(1996)
GM-16	Mt. Myeongseong	hornblende biotite granite	SHRIMP zircon U-Pb	112	2	Hwang and Kim(2007)
GM-17	Sachangri	porphyritic biotite granite	TIMS zircon U-Pb	164.7	2.4	Kim et al.(1999)
GM-18	Otanri	gabbro	TIMS zircon U-Pb	166.2	1.2	Kim et al.(1999)
GM-19	Cheongpyeong	porphyritic biotite granite	SHRIMP zircon U-Pb	237	1	Lee B.J. et al.(2006)
GM-20	Yangpyeong	quartz monzonite	SHRIMP zircon U-Pb	231.8	2.9	Williams et al.(2009)
GM-20	Yangpyeong	hornblende gabbro	SHRIMP zircon U-Pb	231.1	2.8	Williams et al.(2009)
GM-20	Yangpyeong	diorite	SHRIMP zircon U-Pb	231.9	4.1	Kim S.W. et al.(2011)
GM-21	Yeoju	biotite granite	SHRIMP zircon U-Pb	178.1	1.8	Kim J. et al.(2011)
GM-22	Yeoju	biotite granite	SHRIMP zircon U-Pb	172.8	1.2	Kim J. et al.(2011)
GM-23	Icheon	hornblende biotite granodiorite	TIMS sphene U-Pb	167	1.5	Sagong et al.(2005)
GM-24	Anseong	foliated porphyritic hornblende biotite granite	TIMS sphene U-Pb	170.1	1.8	Sagong et al.(2005)
Southwestern part						
GM-25	Seoul	biotite granite	TIMS sphene U-Pb	170.1	3.2	Sagong et al.(2005)
GM-26	Mt. Kwanak	alkali granite	Rb-Sr whole rock	165.8	4.7	Kwon and Cheong (1998)
GM-27	Namyang	biotite granite	TIMS sphene U-Pb	227.2	3.3	Sagong et al.(2005)
GM-28	Kanghwado	hornblende biotite granodiorite	TIMS sphene U-Pb	109.5	1.4	Sagong et al.(2005)
GM-29	Hongseong	porphyritic biotite granite	SHRIMP zircon U-Pb	226	2.2	Williams et al.(2009)
GM-29	Hongseong	quartz syenite	SHRIMP zircon U-Pb	227.3	2.4	Williams et al.(2009)
Okcheon belt						
Northeastern part						
OB-1	Jeongamri	hornblende biotite granodiorite	TIMS sphene U-Pb	226.8	1.9	Sagong et al.(2005)
OB-2	Gangneung	hornblende biotite granodiorite	TIMS sphene U-Pb	165	2.4	Sagong et al.(2005)
OB-3	Imgye	foliated biotite granite	TIMS sphene U-Pb	170	3.3	Sagong et al.(2005)
OB-4	Mt. Odae	mangerite	TIMS single grain zircon U-Pb	228.7	0.9	Jeong et al.(2008a)
OB-5	Anheung	porphyritic hornblende biotite granodiorite	TIMS sphene U-Pb	163.2	1.9	Sagong et al.(2005)

Table 1. Continued

Number	Locality	Rock type	Methodology	Age (Ma)	Uncertainty (Ma)	Reference
Central part						
OB-6	Hyongseong	porphyritic hornblende biotite granodiorite	TIMS sphene U-Pb	169.7	1.6	Sagong et al.(2005)
OB-7	Wonju	biotite granite	SHRIMP zircon U-Pb	172.1	1.5	Kim J. et al.(2011)
OB-8	Wonju	biotite granite	SHRIMP zircon U-Pb	167.8	1.6	Kim J. et al.(2011)
OB-9	Munmak	hornblende biotite granodiorite	TIMS sphene U-Pb	168.6	1.5	Sagong et al.(2005)
OB-10	Wonju	biotite granite	SHRIMP zircon U-Pb	168.8	1.5	Kim J. et al.(2011)
OB-10	Wonju	diorite	SHRIMP zircon U-Pb	224.5	3.2	Kim J. et al.(2011)
OB-11	Sancheok	biotite granite	TIMS sphene U-Pb	171.9	1.7	Sagong et al.(2005)
OB-12	Jecheon	biotite granite	SHRIMP zircon U-Pb	183.9	1.6	Kim J. et al.(2011)
OB-12	Jecheon	hornblende biotite granite	SHRIMP zircon U-Pb	169.6	1.8	Kim J. et al.(2011)
OB-13	Changhowon	biotite granite	SHRIMP zircon U-Pb	167.2	2	Kim J. et al.(2011)
OB-14	Chungju	biotite granite	SHRIMP zircon U-Pb	170.1	1.6	Kim J. et al.(2011)
OB-15	Muamsa	biotite granite	Rb-Sr whole rock	88.2	1.7	Lee et al.(2010)
OB-16	Mt. Weolak	biotite granite	Rb-Sr whole rock	89.6	2.2	Lee et al.(2010)
OB-17	Goesan	diorite	SHRIMP zircon U-Pb	230.1	1.9	Kim J. et al.(2011)
OB-18	Mt. Sokri	biotite granite	Rb-Sr whole rock	91	6	Cheong and Chang(1997)
OB-19	Ian	foliated alkali granite	SHRIMP zircon U-Pb	219.3	3.3	Cho D.L. et al.(2008)
OB-20	Jeomchon	hornblende biotite granodiorite	TIMS sphene U-Pb	224	2.8	Sagong et al.(2005)
OB-21	Boeun	biotite granite	TIMS sphene U-Pb	171.7	1.4	Ree et al.(2001)
OB-22	Baekrok	hornblende biotite granodiorite	SHRIMP zircon U-Pb	226	3.9	Kim S.W. et al.(2011)
OB-23	Cheongsan	porphyritic biotite granite	SHRIMP zircon U-Pb	224.8	1.7	Williams et al.(2009)
OB-24	Yongsan	porphyritic granodiorite	SHRIMP zircon U-Pb	226.7	4.1	Kim S.W. et al.(2011)
OB-25	Cheongju	biotite granite	TIMS sphene U-Pb	174.6	2.7	Kim J. et al.(2011)
OB-26	Daejeon	biotite granite	TIMS sphene U-Pb	174.6	2.5	Kim J. et al.(2011)
OB-27	Geumsan	hornblende biotite granite	TIMS sphene U-Pb	166.1	2	Sagong et al.(2005)
Southwestern part						
OB-28	Buyeo	foliated biotite granite	SHRIMP zircon U-Pb	178.8	2	Park et al.(2009)
OB-28	Buyeo	biotite granite	SHRIMP zircon U-Pb	166.6	1	Park et al.(2009)
OB-28	Buyeo	alkali feldspar granite	SHRIMP zircon U-Pb	164.7	4.1	Park et al.(2009)
OB-29	Hamyeol	porphyritic biotite granite	TIMS sphene U-Pb	165	2.1	Sagong et al.(2005)
OB-30	Jeonju	foliated porphyritic biotite granite	TIMS sphene U-Pb	169.6	1.5	Sagong et al.(2005)
OB-31	Sunchang	foliated porphyritic biotite granite	TIMS sphene U-Pb	174.9	1.9	Sagong et al.(2005)
OB-32	Gimje	foliated hornblende biotite granodiorite	SHRIMP zircon U-Pb	172.7	1.4	Lee et al.(2003)
OB-32	Gimje	biotite granite	SHRIMP zircon U-Pb	169.6	1.8	Lee et al.(2003)
OB-33	Jeongeup	foliated hornblende biotite granite	TIMS sphene U-Pb	172.9	1.7	Jeong et al.(2008b)
OB-34	Yeongkwang	foliated biotite granite	TIMS zircon U-Pb	173	1.7	Kim et al.(2003)
OB-35	Jangseong	hornblende biotite granodiorite	TIMS sphene U-Pb	170.2	1.7	Sagong et al.(2005)
OB-36	Muan	foliated granodiorite	SHRIMP zircon U-Pb	176.3	1.7	Lee et al.(2003)
OB-36	Muan	foliated hornblende granite	SHRIMP zircon U-Pb	165.8	2	Lee et al.(2003)
Yeongnam massif						
Northeastern part						
YM-1	Yeongju	foliated hornblende biotite granodiorite	TIMS sphene U-Pb	169.4	1.6	Sagong et al.(2005)
YM-2	Andong	foliated hornblende biotite granodiorite	TIMS sphene U-Pb	185	1.7	Sagong et al.(2005)

Table 1. Continued

Number	Locality	Rock type	Methodology	Age (Ma)	Uncertainty (Ma)	Reference
Central and southwestern part						
YM-3	Sangju	porphyritic granodiorite	SHRIMP zircon U-Pb	240.1	3.3	Kim S.W. et al.(2011)
YM-4	Sangju	porphyritic hornblende biotite granodiorite	SHRIMP zircon U-Pb	228.3	1.9	Kim S.W. et al.(2011)
YM-5	Gimcheon	partly foliated hornblende granodiorite	SHRIMP zircon U-Pb	188.2	2.5	Lee H.S. et al.(2006)
YM-6	Geochang	two mica granite	TIMS sphene U-Pb	194.6	2.6	Park et al.(2006)
YM-7	Hamyang	hornblende biotite granodiorite	TIMS sphene U-Pb	188	3.3	Sagong et al.(2005)
YM-7	Hamyang	foliated porphyritic granodiorite	SHRIMP zircon U-Pb	232.2	2.7	Kim S.W. et al.(2011)
YM-8	Hamyang	granodiorite	TIMS sphene U-Pb	195.6	1.8	Park et al.(2006)
YM-8	Hamyang	foliated porphyritic granodiorite	TIMS sphene U-Pb	225.4	4.1	Park et al.(2006)
YM-9	Sinwon	foliated granodiorite	TIMS sphene U-Pb	194.2	2.4	Park et al.(2006)
YM-10	Macheon	monzodiorite	SHRIMP zircon U-Pb	236.8	3.4	Kim S.W. et al.(2011)
YM-11	Sancheong	diorite	TIMS zircon U-Pb	209.7	2.3	Kim and Turek(1996)
YM-12	Namwon	hornblende biotite granodiorite	TIMS sphene U-Pb	183.1	1.6	Sagong et al.(2005)
YM-13	Daegang	foliated alkali granite	SHRIMP zircon U-Pb	219.6	1.9	Cho D.L. et al.(2008)
Gyeongsang basin						
Northern part						
GB-1	Onjeongri	hornblende biotite granodiorite	SHRIMP zircon U-Pb	83.4	1.3	Yi et al.(2012b)
GB-2	Yeonghae	diorite	SHRIMP zircon U-Pb	196.3	1.6	Yi et al.(2012a)
GB-3	Yeongdeok	porphyritic hornblende biotite granodiorite	SHRIMP zircon U-Pb	252.9	2.5	Yi et al.(2012a)
GB-4	Satkatbong	diorite	SHRIMP zircon U-Pb	192.4	1.6	Yi et al.(2012a)
GB-5	Jangsari	quartzofeldspathic granite	SHRIMP zircon U-Pb	257.3	2.0	Yi et al.(2012a)
GB-5	Jangsari	gabbro	SHRIMP zircon U-Pb	255.7	1.4	Yi et al.(2012a)
GB-6	Cheongsong	porphyritic granodiorite	SHRIMP zircon U-Pb	202.9	1.2	Cheong et al.(2011)
Central and southern part						
GB-7	Hoam	biotite granite	Rb-Sr whole rock	39.7	0.1	Kim et al.(1995)
GB-8	Oyuri	biotite granite	Rb-Sr whole rock	59.5	0.1	Kim et al.(1995)
GB-9	Teogdong	biotite granite	Rb-Sr whole rock	45.6	0.1	Kim et al.(1995)
GB-10	Taebon	granodiorite	Rb-Sr whole rock	42.2	0.1	Kim et al.(1995)
GB-11	Kyongju	alkali granite	Rb-Sr whole rock	49.7	0.1	Kim and Kim(1997)
GB-12	Kyongju	biotite granite	Rb-Sr whole rock	49.8	0.1	Kim and Kim(1997)
GB-13	Unyang	biotite granite	Rb-Sr whole rock	67.1	0.4	Na(1994)
GB-14	Unyang-Yangsan	hornblende biotite granite	SIMS zircon U-Pb	72.4	0.7	Zhang et al.(2012)
GB-15	Yangsan	biotite granite	Rb-Sr whole rock	70.6	4.2	Lee et al.(1995)
GB-16	Mt. Geumjeong	granodiorite	Rb-Sr whole rock	69.6	1.9	Yun et al.(2005)
GB-17	Kupo	biotite granite	Rb-Sr whole rock	68.8	3.4	Lee et al.(1995)
GB-18	Kimhae	hornblende biotite granite	Rb-Sr whole rock	83.9	9	Lee et al.(1995)
GB-19	Masan	hornblende biotite granite	Rb-Sr whole rock	100.1	7.1	Lee et al.(1995)
GB-20	Jinhae	biotite granite	Rb-Sr whole rock	70.5	1.9	Lee et al.(1995)

같은데 오랜 기간에 걸쳐 정치된 것으로 판단되는 경우(예: 영덕 암체) 가장 오래된 연대 자료를 기준으로 하였다. 또한 시대와 암상이 다른 화강암류가 혼재되어 복합체를 이루는 것으로 판단되는 경우(예: 함양

암체)에도 역시 오래된 암상을 기준으로 구분하였다. Fig. 2에는 북한 해주 지역의 트라이아스기 후기(224 Ma) 섬장암(Peng et al., 2008)도 표시되어 있다.

Fig. 2. Distribution of Phanerozoic granitoids in southern Korean Peninsula classified by emplacement ages; Permian to Early Triassic(>245 Ma), Middle-Late Triassic(245~201.6 Ma), Early Jurassic(201.6~176 Ma), Middle Jurassic(176~161 Ma), Cretaceous(145.5~65.5 Ma), Paleogene(<65.5 Ma).

토 의

남한 지역의 고생대 화성활동

남한 지역에서 고생대 화강암에 대한 보고는 매우 제한적이다. 김진섭 외(1998)는 옥천대 계명산층 내에 분포하는 알칼리 화강암 맥에 대하여 338 ± 30 Ma의 Sm-Nd 전암 연대를 보고하였는데 알칼리 화강암의 경계부에 주로 발달되는 희토류 광석에 대한 Sm-Nd 연대측정 결과(330 ± 20 Ma, 박맹언과 김근수, 1995)와도 조화적이다. Kim H. et al.(2009)은 임진강대 연천층군을 관입하는 소규모 각섬석 화강암 맥에 대한 375 Ma 내외의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대를 보고하였다. 이 두 연대는 한반도에서 일반적으로 알려지지 않았던 데본기-석탄기 화성활동과 광화작용의 시기를 지시하며 특히 임진강대 각섬석 화강암의 자료는 연천층군의 퇴적시기를 제한하는 중요한 의미를 가지지만 3 m 내지 6 m 폭으로(기원서 외, 2008) 소규모이다. 이승구 외(2007)는 포항시 흥해읍 2,300 m 심도에서 회수된 화강섬록암 시추 코어에서 273 ± 4 Ma의 SHRIMP 저어콘 연대측정 결과를 보고하였다. 한반도 남부에서 노두 규모로 1:50,000 지질도폭 수준에서 기록할 만한 최초의 고생대 화강암은 앞서 정리한 바대로 Yi et al.(2012a)이 보고한 장사리, 영덕 암체이다. 이 암체들은 특징적으로 양(+)의 ϵ_{Nd} 초기치를 보여(Cheong et al., 2002; Yi et al., 2012) 이승구 외(2007)가 보고한 화강섬록암 코어 시료와 유사하게 젊은(7억년에서 9억년 내외) Nd 모델연령을 가진다. 따라서 영덕, 장사리 암체는 경상분지 기반암의 전반적인 특징을 반영하는 고생대 후기 화강암류로 볼 수 있으며, 영덕 암체 내부에 포획되어 있는 섬록암의 정치 시기가 약 265 Ma로 보고된다는 점(정창식 외, 2011)과 이승구 외(2007)의 273 Ma 자료를 고려할 때 적어도 페름기 초부터 한반도 남동부에서 섭입 환경과 연관되어 화성활동이 일어났음이 확실하다.

트라이아스기 화강암의 지구조적 성격

전통적으로 한반도에는 트라이아스기 화강암이 드물게 분포한다고 알려져 왔으나 최근의 연대측정 결과에 의하면 경기육괴 남서부와 옥천대 중부, 영남육괴 중부에 집중적으로 분포한다는 것이 밝혀졌다(Fig. 2).

트라이아스기 초 화성활동의 기록은 영남육괴 상주-김천 지역과 안동-청송 지역에서 나타난다. 이호선 외

(2007a, b)는 SHRIMP와 LA-ICPMS(Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) 저어콘 연대측정을 통해 상주-김천 지역 화강편마암의 정치 시기를 약 250~240 Ma로 보고하였으며, 정창식 외(2011)는 SHRIMP 저어콘 연대측정에 의하여 안동-청송 지역 토날라이트(tonalite), 트론제마이트(trondhjemite) 내지 몬조나이트질 편마암의 정치시기를 약 250 Ma로 보고하였다. 이 화강편마암들은 섭입대에서 만들어진 화강암의 전형적인 지화학적 특징을 가지며 ϵ_{Nd} 초기치도 경기육괴와 옥천대에 산출되는 화강암에 비해 훨씬 높다(이호선 외, 2007b; 정창식 외, 2011). 이러한 영남육괴의 신기 편마암류는 경계가 아직 불확실하고 이 논평이 기본적으로 화성활동을 다루는 것이므로 Fig. 2에 표시하지는 않았다. 경상분지 북부의 영덕 암체도 아다카이트의 특징을 잘 보이는 초생적인 화강암이며(Yi et al., 2012a) 따라서 경상분지 북부와 영남육괴 중부에 일어난 페름기 말-트라이아스기 초 화성활동은 한반도에서의 대륙 충돌 사건 이전에 일어난 해양판의 섭입과 관련된 것이다.

Williams et al.(2009)은 경기육괴 홍성, 양평 지역의 트라이아스기 후기(231~228 Ma) 석영 섬장암과 석영 몬조나이트가 쇼쇼나이트(shoshonite)질에 해당되며 -20 ~ -10 범위의 ϵ_{Nd} 초기치를 가져 한반도에서의 남북 대륙충돌 직후에 두꺼워진 지각이 다시 안정화되는 과정에서 지각 물질의 용융에 의해 만들어진 후충돌형(post-collisional) 화강암으로 해석하였다. Kim J. et al.(2011)도 옥천대 중부 괴산 지역을 중심으로 발달된 트라이아스기 후기(약 230 Ma) 섬록암을 역시 쇼쇼나이트질에 해당되는 후충돌형 화강암으로 제안하였다. 옥천대 중부에 위치하는 백록, 청산 암체의 경우 SHRIMP 저어콘 연대측정에 의하면 약 225 Ma에 정치한 것으로 보고되는데 주원소의 특징이 high-K 칼크-알칼리 계열에 속한다(정창식과 장호완, 1996; Kim S.W. et al., 2011). Cho et al.(2008)은 옥천대 중부와 남서부에서 산출되는 이안, 대강 암체가 A-형 화강암의 지화학적 특징을 보이며 약 219 Ma의 관입 연대를 가진다고 보고하였다. 따라서 한반도에서의 대륙 충돌 이후 231~219 Ma 기간 동안 아마도 확장 환경의 지배를 받아 후충돌형 화강암류가 생성된 것으로 해석되므로 이 화강암류의 성인은 영남육괴 중부에서 해양판의 섭입과 관련되어 생성된 트라이아스기 초 화강암류와 전혀 다르다.

시기에 따른 주라기 화강암의 지역적 편재

Fig. 2에서 보는 바와 같이 주라기 초기에 관입한 화강암류는 영남육괴 중부를 중심으로 경기육괴 북동부 설악산 지역과 경상분지 북부에 집중되는 반면에 옥천대와 경기육괴 중부에는 주라기 중기의 화강암이 주를 이룬다. 그 이유에 대하여 박계현 외(2010)는 해구의 위치나 섭입판의 침강각, 또는 해양판의 섭입각도 변화로 설명하였다. 즉 주라기 초에 비해 중기에는 해구가 유라시아판 쪽으로 더 접근하였거나 침강각이 상대적으로 저각으로 변화하였거나, 또는 침강판의 섭입각도가 예각에서 수직방향으로 변화하여 영남육괴보다는 내륙 쪽에 있는 옥천대나 경기육괴에서 마그마가 만들어졌다는 것이다. 비슷한 맥락으로 Sagong et al.(2005)은 주라기 후기부터 백악기 초기 약 50 Ma 기간 동안 한반도에서 화성활동이 일어나지 않은 원인을 침강각이 저각으로 변화하였거나 해양대지의 섭입, 또는 침강속도가 빨라진 데서 찾은 바 있다.

Kee et al.(2010)은 영남육괴 중부(이 논평의 YM-9번 지점)의 주라기 초 화강암류(합천, 칠곡 암체로 지칭)가 특히 Sr-Nd 동위원소적으로 초생적이라는 점에 주목하고 고태평양판(paleo-Pacific plate)의 섭입에 의해 두꺼워진 대륙지각이 분리(delamination)되면서 연약권 맨틀(asthenospheric mantle)에서 유래한 뜨거운 염기성 마그마가 관입하여 대륙지각 하부를 녹임으로써 화성활동이 일어난 것으로 제안하였다. 이 가설은 대개 대륙지각 두께 증가의 원인으로 생각하는 대륙 충돌이나 플룸(plume)의 상승이 아닌 섭입 작용에 의하여 하부 분리가 일어날 만큼 충분히 대륙지각이 두꺼워질 수 있는지, 그리고 주라기 초에는 영남육괴, 주라기 중기에는 옥천대와 경기육괴에서만 선택적으로 하부지각 분리가 일어난 원인이 무엇인지에 대해서는 충분히 설명하지 않는다. 사실 화강암의 성인을 염기성 마그마의 열적인 역할에서 찾는다는 점에서라면 굳이 하부지각의 분리를 상정하지 않더라도 MASH(melting, assimilation, storage, and homogenization) 가설(Hildreth and Moorbath, 1988)로 충분히 활동성 대륙 연변부에서의 화강암질 마그마 생성을 설명할 수 있다.

결 언

우리는 이 논평에서 남한에 분포하는 현생 화강암

류의 총 98개 지점에 대한 연대측정 자료를 정리하였다. 경상분지 북부를 중심으로 섭입 환경에서 맨틀 성분이 우세한 초생적인 화성활동이 폐름기 초부터 일어났으며 트라이아스기 초기에는 영남육괴 중부 지역에서 역시 섭입 환경에서 생성된 토날라이트 내지 트론제마이트, 화강섬록암질의 화강암 관입이 있었다. 경기육괴 남서부와 옥천대 중부를 중심으로 분포하는 트라이아스기 후기 high-K 계열과 A-형 화강암류는 한반도에서의 대륙 충돌 이후 관입한 후충돌형 화강암으로 생각된다. 주라기 초기와 중기의 화강암류는 지역적인 편재를 보이는데, 섭입 환경에서 마그마의 생성을 제한하는 요소들, 즉 침강각이나 섭입각도, 트랜치 위치 등에서의 변화에 기인된 것으로 판단된다. 백악기 화강암류는 경상분지 안쪽에 주로 분포하며 바깥쪽으로는 강화도와 연천 인근에서 약 110 Ma, 설악산, 무암사, 월악산, 속리산 지역에서 약 90 Ma에 관입하였는데 특징적으로 천부 관입체이다. 고제3기 화강암은 경주 지역을 중심으로 동해안 지역에 제한적으로 분포한다. 우리는 이 논평의 정리 결과로부터 한반도 현생 화강암류에 대하여 좀 더 자세하고 설득력 있는 생성, 진화 모델이 제시될 수 있기를 기대한다.

사 사

이 연구는 한국기초과학지원연구원의 초정밀 동위원소장치 활용고도화사업(G32221)에 의해 지원되었습니다. 저자들은 원고에 대한 박계현 교수님과 기원서 박사님의 세심한 지적과 충고에 대해 감사드리며 SHRIMP 연대측정 자료에 대해 유익한 조언을 해 준 이기욱 박사님께도 감사드립니다. 또한 한국암석학회 20주년 특별호를 기획, 준비하신 조문섭 회장님과 이승렬 이사님께도 그 수고에 특별한 감사의 말씀을 드립니다.

참고문헌

- 고희재, 송교영, 2005, 한국지질도(1:50,000), 의정부도폭 및 설명서, 한국지질자원연구원, 37p.
- 기원서, 김현철, 김복철, 최성익, 박승익, 황상구, 2010a, 한국지질도(1:50,000), 설악산도폭 및 설명서, 한국지질자원연구원, 94p.
- 기원서, 임순복, 김현철, 황상구, 김복철, 송교영, 김유홍, 2008, 한국지질도(1:50,000), 연천도폭 및 설명서, 한국지질자원연구원, 83p.
- 기원서, 조동룡, 김복철, 진광민, 2005, 한국지질도(1:50,000),

- 포천도폭 및 설명서, 한국지질자원연구원, 66p.
- 김근수, 김종열, 정규귀, 황진연, 이준동, 1995, 경상북도 경주-감포 일원에 분포하는 화강암류의 Rb-Sr 연대. 지구과학회지, 16, 272-279.
- 김옥준, 1971, 남한의 신기화강암류의 관입시기와 지각변동. 광산지질, 4, 1-9.
- 김용준, 1979, 제천 화강암체에 대한 암석학적 연구. 광산지질, 12, 115-126.
- 김유봉, 최위찬, 황상구, 2010, 한국지질도(1:50,000), 창암점도폭 및 설명서, 한국지질자원연구원, 80p.
- 김정환, 박범환, 이병주, 1981, 한국지질도(1:50,000), 청평도폭 및 설명서, 한국동력자원연구소, 29p.
- 김진섭, 박맹인, 김근수, 1998, 충주지역 계명산층 내에 산출하는 알카리 화강암의 지구화학적 연구. 자원환경지질, 31, 349-360.
- 김태성, 오창환, 김정민, 2011, 오대산 지역에 나타나는 맨저라이트와 반력암의 특징과 트라이아스기 한반도 지체구조 해석에 대한 의미. 암석학회지, 20, 77-98.
- 박계현, 김명정, 양운석, 조경오, 2010, 한반도 주라기 심성암의 연령분포. 암석학회지, 19, 269-281.
- 박계현, 이호선, 송용선, 정창식, 2006, 영남육괴 함양, 거창 및 영주 화강암-화강섬록암의 스핀 U-Pb 연대. 암석학회지, 15, 39-48.
- 박계현, 이호선, 정창식, 2005, 영남육괴 중부 김천, 성주 및 안의지역 화강섬록암의 스핀 U-Pb 연대. 암석학회지, 14, 1-11.
- 박맹인, 김근수, 1995, 충주지역 회토류 광상의 성인: 산출상태와 지화학적 특성. 자원환경지질, 28, 599-612.
- 사공희, 권성택, 전은영, S.A. Mertzman, 1997, 화천 화강암의 암석학 및 지구화학. 지질학회지, 33, 99-110.
- 송교영, 조동룡, 2007, 한국지질도(1:50,000), 김화도폭 및 설명서, 한국지질자원연구원, 46p.
- 송교영, 조동룡, 2009, 한국지질도(1:50,000), 만대리도폭 및 설명서, 한국지질자원연구원, 72p.
- 윤성효, 고정선, 박광순, 안효찬, 김용일, 유성현, 이동한, 윤기영, 2005, 부산 금정산화강암체의 암석학 및 Rb-Sr 전암 등시선 연대. 암석학회지, 14, 61-72.
- 이병주, 김유봉, 기원서, 2006, 한국지질도(1:50,000), 기산도폭 및 설명서, 한국지질자원연구원, 39p.
- 이승구, 조동룡, 이창범, 이태준, 김통권, 송윤호, 이진수, 2007, 포항시 흥해읍 지하 2300m 화강섬록암 시추코아내 저어콘의 U-Th 연대: 포항분지 기저암의 생성시기에 대한 고찰 (요약문), 추계지질과학연합학술발표회 요약집, 110.
- 이승렬, 이병주, 조동룡, 기원서, 고희재, 김복철, 송교영, 황재하, 최범영, 2003, 전주전단대 화강암류의 SHRIMP U-Pb 저어콘 연대측정: 호남전단대의 운동시기에 대한 고찰 (요약문), 한국암석학회 한국광물학회 공동학술발표회 요약집, 55.
- 이호선, 송용선, 정창식, 박계현, 2006, 상주화강암과 김천 화강암의 SHRIMP U-Pb 저어콘 연대보고 (요약문). 대한지질학회 학술발표회 요약집, 108.
- 이호선, 송용선, 박계현, 정창식, 2007a, 중부 영남육괴에 분포하는 페름기 후기 삼첩기 초기(240-250 Ma) 화강편마암의 U-Pb 저어콘 연대와 의미 (요약문). 한국암석학회 한국광물학회 공동학술발표회 요약집, 51-54.
- 이호선, 송용선, 박계현, 정창식, 2007b, 중부 영남육괴 상주-김천지역에 분포하는 페름기 후기-삼첩기 초기 화강편마암의 SHRIMP 저어콘 연대보고 (요약문). 추계지질과학연합학술발표회 요약집, 162.
- 정연중, 이기욱, Kamo, S.L., 정창식, 2008a, 경기육괴 동부 맨저라이트에 대한 저어콘 단일 입자 열이온화질량분석법 연대측정. 지질학회지, 44, 425-433.
- 정연중, 정창식, 박천영, 신인현, 2008b, 정음염리상화강암의 지구화학 및 동위원소 특성과 U-Pb 스핀 연대. 지구과학회지, 29, 539-550.
- 정창식, 권성택, 김정민, 장병욱, 1998, 경상분지 북부에 분포하는 온정리 화강암에 대한 암석화학적, 동위원소 지구화학적 연구: 경상분지 다른 지역과 서남 일본 내대에 분포하는 백악기-제3기 화강암류와의 비교 고찰. 암석학회지, 7, 77-97.
- 정창식, 김남훈, 김정민, 이기욱, 정연중, 조문섭, 2011, 한반도 동남부 안동-청송-영덕 지역의 페름기-트라이아스기 화성활동과 변성작용 (요약문). 추계지질과학연합학술발표회 요약집, 10.
- 정창식, 장호환, 1996, 중부 옥천 변성대의 화성, 변성 및 광화작용과 구조조적 연관성 연구 (I): 보은지역 화강암류의 암석화학과 동위원소 지구화학. 지질학회지, 32, 91-116.
- 조문섭, 김현철, I. Williams, 2008, 설악산의 나이 (요약문), 추계지질과학연합학술발표회 요약집, 42. 대한지질학회 학술발표회 요약집, 17.
- 진명식, 신성천, 김성재, 주승환, 1993, 경기육괴내 춘천화강암체의 생성연대와 열사. 암석학회지, 2, 122-129.
- 최범영, 김현철, 이승렬, 권세현, 2009, 한국지질도(1:50,000), 인제도폭 및 설명서, 한국지질자원연구원, 52p.
- 한미, 김진섭, 이기욱, 김산웅, 2010, 거창 일대에 분포하는 섬록암류와 화강암류에 대한 암석학적 연구 (요약문), 한국암석학회 한국광물학회 공동학술발표회 요약집, 123-126.
- 홍세선, 김용준, 김정빈, 1988, 남원지역에 분포하는 남원화강암체에 대한 암석지화학적 연구. 지질학회지, 24, 132-146.
- 황재하, 김유홍, 2005, 한국지질도(1:50,000), 강화온수리도폭 및 설명서, 한국지질자원연구원, 46p.
- 황재하, 김유홍, 2007, 한국지질도(1:50,000), 지포리도폭 및 설명서, 한국지질자원연구원, 54p.
- Barbarin, B., 1999, A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments. Lithos, 46, 605-626.
- Cheong, C.-S., and Chang, H.W., 1997, Sr, Nd, and Pb isotope systematics of granitic rocks in the central Ogcheon Belt, Korea. Geochemical Journal, 31, 17-36.
- Cheong, C.-S., Kee, W.-S., Jeong, Y.-J., and Jeong, G.Y., 2006, Multiple deformations along the Honam shear zone in southwestern Korea constrained by Rb-Sr dating of

- synkinematic fabrics: Implications for the Mesozoic tectonic evolution of northeastern Asia. *Lithos*, 87, 289-299.
- Cheong, C.-S., Kwon, S.T., and Sagong, H., 2002, Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic investigation of Triassic granitoids and basement rocks in the northern Gyeongsang Basin, Korea: Implications for the young basement in the East Asian continental margin. *The Island Arc*, 11, 25-44.
- 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*, 105, 191-200.
- Cho, D.L., Suzuki, K., Adachi, M., and Chwae, U., 1996, A preliminary CHIME age determination of monazite from metamorphic and granitic rocks in the Gyeonggi Massif, Korea. *Journal of Earth and Environmental Science Nagoya University*, 43, 49-65.
- Cho, K.-H., Takagi, H., and Suzuki, K., 1999, CHIME monazite age of granitic rocks in the Sunchang shear zone, Korea: timing of dextral ductile shear. *Geosciences Journal*, 3, 1-15.
- Fullagar, P.D., and Park, B.K., 1975, Rb-Sr study of granite and gneiss from Seoul, South Korea. *Geological Society of America Bulletin*, 86, 1579-1580.
- Hildreth, W., and Moorbath, S., 1988, Crustal contributions to arc magmatism in the Andes of central Chile. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 98, 455-489.
- Hurley, P.M., Fairbairn, H.W., Pinson, Jr. W.H., and Lee, J.H., 1973, Middle Precambrian and older apparent age values in basement gneisses of South Korea, and relations with southwest Japan. *Geological Society of America Bulletin*, 84, 2299-2304.
- Jo, H.J., 2012, U-Pb zircon geochronology and Sr-Nd-Pb isotopic studies on Namwon, Sunchang and Daegang granites distributed in the southwestern part of the Korean Peninsula, M.S. dissertation, Pukyong National University, 58p.
- Jwa, Y.-J., Nakajima, T., Uchiumi, S., and Shibata, K., 1990, Geochronology and cooling history of Mesozoic granitic rocks in the Inje-Hongcheon district, South Korea. *Geochemical Journal*, 24, 93-103.
- Kee, W.-S., Kim, S.W., Jeong, Y.-J., and Kwon, S., 2010b, Characteristics of Jurassic continental arc magmatism in South Korea: Tectonic implications. *Journal of Geology*, 118, 305-323.
- Kim, C.-B., Chang, H.-W., and Turek, A., 2003, U-Pb zircon ages and Sr-Nd-Pb isotopic compositions for Permian-Jurassic plutons in the Ogcheon belt and Ryeongnam massif, Korea: Tectonic implications and correlation with the China Qinling-Dabie belt and the Japan Hida belt. *The Island Arc*, 12, 366-382.
- Kim, C.-B., and Turek, A., 1996, Advances in U-Pb zircon geochronology of Mesozoic plutonism in the southwestern part of Ryeongnam massif, Korea. *Geochemical Journal*, 30, 323-338.
- Kim, C.-B., Turek, A., Chang, H.-W., Park, Y.-S., and Ahn, K.-S., 1999, U-Pb zircon ages for Precambrian and Mesozoic plutonic rocks in the Seoul-Cheongju-Chooncheon area, Gyeonggi massif, Korea. *Geochemical Journal*, 33, 379-397.
- Kim, C.-S., and Kim, G.-S., 1997, Petrogenesis of the early Tertiary A-type Namsan alkali granite in the Kyongsang Basin, Korea. *Geoscience Journal*, 1, 99-107.
- Kim, H., Horie, K., Kee, W.-S., Hidaka, H., and Cho, D.-L., 2009, Middle Devonian SHRIMP U-Pb age of the hornblende granite and its implication on the depositional age of the Yeoncheon Group (abstract), *Petrological Society of Korea Annual Meeting Abstract with Programs*, 78.
- 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*, 20, 608-620.
- Kim, S.W., Kwon, S., Koh, H.J., Yi, K., Jeong, Y.-J., and Santosh, M., 2011, Geotectonic framework of Permo-Triassic magmatism within the Korean Peninsula. *Gondwana Research*, 20, 865-889.
- Kim, S.W., Kwon, S., and Ryu, I.-C., 2009, Geochronological constraints on multiple deformations of the Honam Shear Zone, South Korea and its tectonic implication. *Gondwana Research*, 16, 82-89.
- Kim, S.W., Oh, C.W., Choi, S.G., Ryu, I.-C., and Itaya, T., 2005, Ridge subduction-related Jurassic plutonism in and around the Okcheon Metamorphic Belt, South Korea, and implications for northeast Asian tectonics. *International Geology Review*, 47, 248-269.
- Kinoshita, O., 1995, Migration of igneous activities related to ridge subduction in southwest Japan and the east Asian continental margin from the Mesozoic to the Paleogene. *Tectonophysics*, 245, 25-35.
- Kwon, S.-T., and Cheong, C.-S., 1998, Rb-Sr isotope study of the Kwanaksan stock in the Gyeonggi massif, Korea (abstract), *Geological Society of Korea Annual Meeting Abstract with Programs*.
- Kwon, S.-T., Cheong, C.-S., and Sagong, H., 2006, Rb-Sr isotopic study of the Hwacheon granite in northern Gyeonggi massif, Korea: A case of spurious Rb-Sr whole rock age. *Geosciences Journal*, 10, 137-143.
- Kwon, S.-T., Lan, C.-Y., and Lee, T., 1999, Rb-Sr and Sm-Nd isotopic study of the Seoul granitic batholith in middle Korea. *Geosciences Journal*, 3, 107-114.
- Kwon, S.-T., Shin, K.B., Park, H.K., and Mertzman, S.A., 1995, Geochemistry of the Kwanaksan alkali feldspar granite: A-type granite? *Journal of Petrological Society of Korea*, 4, 31-48.
- Lee, B.-J., Lee, S.R., Cho, D.L., and Armstrong, R., 2001,

- Multiple ductile shearing during the Jurassic times in Jeonju ductile shear zone, Korea (abstract), Geological Society of Korea Annual Meeting Abstract with Programs.
- Lee, J.I., Jwa, Y.-J., Park, C.-H., Lee, M.J., Moutte, J., and Kagami, H., 1999, Sr and Nd isotopic compositions of late Paleozoic Youngju and Andong granites in the north-eastern Yeongnam Massif, Korea. *Geochemical Journal*, 33, 153-165.
- Lee, J.I., Kagami, H., and Nagao, K., 1995, Rb-Sr and K-Ar age determinations of the granitic rocks in the southern part of the Kyeongsang basin, Korea: Implication for cooling history and evolution of granitic magmatism during late Cretaceous. *Geochemical Journal*, 29, 363-376.
- Lee, S.G., Shin, S.C., Kim, K.H., Lee, T., Koh, H., and Song, Y.S., 2010, Petrogenesis of three Cretaceous granites in the Okcheon Metamorphic Belt, South Korea: Geochemical and Nd-Sr-Pb isotopic constraints. *Gondwana Research*, 17, 87-101.
- Li, X.-h., 2000, Cretaceous magmatism and lithospheric extension in Southeast China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18, 293-305.
- Min, K.-W., and Kim, S.-B., 1996, Geochemistry and petrogenesis of the granitic rocks in the vicinity of the Mt. Sorak. *Journal of Petrological Society of Korea*, 5, 35-51.
- Na, C. K., 1994, Genesis of granitoid batholiths of Okchon zone, Korea and its implications for crustal evolution. Ph.D. dissertation, University of Tsukuba, Japan.
- Oh, C.W., Krishnan, S., Kim, S.W., and Kwon, Y.W., 2006, Mangerite magmatism associated with a probable Late-Permian to Triassic Hongseong-Odaesan collision belt in South Korea. *Gondwana Research*, 9, 95-105.
- Park, Y.S., Kim, S.W., Kee, W.-S., Jeong, Y.-J., Yi, K., and Kim, J., 2009, Middle tectono-magmatic evolution in the southwestern margin of the Gyeonggi Massif, South Korea. *Geosciences Journal*, 13, 217-231.
- 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. *Geological Magazine*, 145, 637-647.
- Ree, J.-H., Kwon, S.-H., Park, Y., Kwon, S.-T., and Park, S.-H., 2001, Pre-tectonic and post-tectonic emplacements of the granitoids in the south central Okcheon belt, South Korea: Implications for the timing of strike-slip shearing and thrusting. *Tectonics*, 20, 850-867.
- Sagong, H., Kwon, S.-T., and Ree, J.-H., 2005, Mesozoic episodic magmatism in South Korea and its tectonic implication. *Tectonics*, 24, TC5002, doi:10.1029/2004TC001720.
- Takahashi, M., 1983, Space-time distribution of late Mesozoic to early Cenozoic magmatism in east Asia and its tectonic implications. In: *Accretion tectonics in the Circum-Pacific regions* (ed. M. Hashimoto and S. Uyeda), Terra Science, Tokyo, 69-88.
- Turek, A., and Kim, C.-B., 1995, U-Pb zircon ages of Mesozoic plutons in the Damyang-Geochang area, Ryongnam massif, Korea. *Geochemical Journal*, 29, 243-258.
- Walker, J.D., and Geissman, J.W., 2009, *Geologic Time Scale*. Geological Society of America, doi: 10.1130/2009.CTS004R2C.
- 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.
- Yi, K., Cheong, C.-S., Kim, J., Kim, N., Jeong, Y.-J., and Cho, M., 2012a, Late Paleozoic to Early Mesozoic arc-related magmatism in southeastern Korea: SHRIMP zircon geochronology and geochemistry. *Lithos* 10.1016/j.lithos.2012.02.007 (in print).
- Yi, K., Cheong, C.-S., Kim, N., Lee, S., Choi, M.-S., 2012b, Mixing effects in zircon U-Pb ion microprobe dating: An example from a quartzofeldspathic dyke in the Yeongdeok pluton, southeastern Korea. *Geochemical Journal* (accepted).
- Zhang, Y.-B., Zhai, M., Hou, Q.-L., Li, T.-S., Liu, F., and Hu, B., 2012, Late Cretaceous volcanic rocks and associated granites in Gyeongsang Basin, SE Korea: Their chronological ages and tectonic implications for cratonic destruction of the North China Craton. *Journal of Asian Earth Sciences*, 47, 252-264.

2012년 4월 2일 접수
 2012년 4월 3일 심사개시
 2012년 4월 23일 채택