

한반도 쥐라기 심성암의 연령분포

박계현^{1*} · 김명정² · 양윤석² · 조경오²

¹부경대학교 환경해양대학 지구환경과학과

²부경대학교 일반대학원 지구환경시스템과학부 환경지질과학전공

Age Distribution of the Jurassic Plutons in Korean Peninsula

Kye-Hun Park^{1*}, Myong Jung Kim², Yun Seok Yang² and Kyung O Cho²

¹Department of Earth Environmental Sciences, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

²Division of Earth Environmental System, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

요약: 쥐라기 동안 한반도에 관입한 심성암체들에 대한 최근의 정밀한 연대측정결과들을 종합해보면 남쪽에 위치한 영남육괴에서는 삼첩기와 쥐라기의 경계시기인 약 200 Ma 무렵부터 가장 먼저 화성활동이 시작되었으며 점차 북쪽으로 화성활동의 범위가 확대된 것으로 나타난다. 옥천대 및 그 주변지역에서의 화성활동은 영남육괴에서의 화성활동이 거의 종료된 약 180 Ma 무렵부터 화성활동이 시작되었고, 더 북쪽의 경기육괴 및 그 주변지역에서의 주된 쥐라기 화성활동의 시작은 옥천대지역보다는 조금 더 후기인 약 170 Ma 경부터이다. 쥐라기 화성활동이 종료된 시점도 옥천대 및 그 주변지역이 경기육괴 지역보다는 조금 일찍 종료되었다. 이와 같은 한반도에서의 쥐라기 화성활동 시기가 위치에 따른 차이를 보이는 것은 해구까지의 거리와 섭입 각도 및 섭입판의 침강각과 같은 요소들이 변화하였기 때문으로 생각된다. 따라서 한반도에서 확인된 정밀한 연령에 따른 화성활동의 변화는 당시의 동북아시아 고지리 및 지구조환경을 세밀하게 복원하는데도 중요한 자료로 활용될 수 있을 것으로 생각한다.

핵심어: 쥐라기, 화강암, 정치 연령, 한반도, 지구조환경, 섭입, 고지리

Abstract: The compiled recent precise age data for the plutonic intrusions of Korean peninsula display that the Jurassic igneous activities occurred on the Yeongnam massif since ca. 200 Ma close to the boundary between Triassic and Jurassic. Since then the igneous activities propagated toward further north through time. The Jurassic igneous activities over the Okcheon belt and its vicinity areas began at about 180 Ma when igneous activities of the Yeongnam massif had been almost over. The igneous activities within the Gyeonggi massif located further north started at somewhat later period ca. 170 Ma. Jurassic igneous activities over the Okcheon belt and its vicinity areas ended a little earlier than the Gyeonggi massif area. Such timing differences upon geographic positions within the Korean peninsula seem to reflect variations in distance to the trench, in the direction of subduction, and/or in subduction angle. Therefore precise understanding of the variations in emplacement ages of Jurassic plutons within Korean peninsula can be a important clue to reconstruct the paleogeography and tectonic environment of the northeast Asia during the Jurassic.

Key words: Jurassic, granite, emplacement age, Korean peninsula, tectonic environment, subduction, paleogeography

*Corresponding author

Tel: 051-629-6629

E-mail: khpark@pknu.ac.kr

서 론

중생대 화강암질 심성암은 선캠브리아의 기저 변성암과 더불어 한반도의 매우 넓은 지역에 걸쳐 분포하는 매우 중요한 암상이다. 한반도의 중생대 심성암은 상당히 오랜 기간 동안 유라기의 대보 화강암과 백악기의 불국사 화강암의 둘로 크게 나뉘어왔다. 하지만 지난 10여 년 동안의 정밀한 연대측정 결과 삼척기의 연령을 가진 것으로 밝혀진 심성암체들이 한반도의 여러 곳에 분포하고 있는 것으로 확인되었을 뿐만 아니라(Turek and Kim, 1995; Ree et al., 2001; 정창식 외, 2004; Sagong et al., 2005; 박계현 외, 2005, 2006; Peng et al., 2008; Williams et al., 2009; Seo et al., 2010) 한반도를 구성하는 각 지괴별로 중생대 심성암체들의 연령분포가 다르다는 의견도 제시되었다(박계현 외, 2006). 이러한 최근의 연구 결과들은 한반도의 중생대 화성활동 시기에 대한 종합적인 재검토의 필요성을 제기한다. 저자들은 최근에 보고된 정밀한 연령분석의 결과들만을 종합하여 비교해보았으며 그 결과 유라기 동안에 심성 화성활동이 활발하게 일어났던 시기가 지역별로 상당한 차이가 있었음을 발견하였다. 이 논문에서는 한반도의 유라기 심성암들의 정치연령 비교를 통해 각 지괴별로 어떠한 공통점과 차이점이 있는지를 알아보고, 이를 바탕으로 이 시기의 한반도 화성활동과 관련한 지구조적 환경변화에 대하여 논의하고자 한다.

연구방법

연령자료의 선별기준

앞에서 언급했던 것처럼 이 연구는 한국에서 일어났던 유라기 동안의 화성활동을 연구대상으로 한다. 국제지질연대표(Gradstein et al., 2004)에 따르면 절대연령으로 구분한 유라기의 기간은 199.6±0.6 Ma부터 145.5±4.0 Ma까지이다. 오차를 감안하면 최고와 최저 연령이 각각 200.2 Ma와 141.5 Ma인 셈이다. 따라서 이 범위에 속하는 절대연령 자료를 갖는 화성암체를 골라내어 지역별로 비교하는 것이 이 논문의 주요 내용이라고 할 수 있다. 그 동안 국내 화성암의 정치연령에 대해서는 상당히 많은 연대측정 자료들이 보고되어 왔지만 분석자료의 질적 수준은 매우 큰 편차를 보이고 있다. 따라서 정확도가 떨어지는 방법으로 구한 정밀하지 못한 자료들을 모두 포함할 경우

논의에 큰 혼란이 올 수 있기 때문에 신뢰도가 높은 자료들을 선별할 필요가 있다. 다행히도 최근에는 정확도와 정밀도가 뛰어난 첨단 분석법에 기초한 연령 자료들이 많이 보고되었으며, 이 연구에서는 이러한 자료들을 위주로 정치연령을 비교하여 논의하고자 한다.

논의에 포함된 자료들은 주로 저어콘 및 스피নে 대한 U-Pb 연대측정자료들이며, 동일한 암체에 대한 복수 연구결과들의 연령이 일치하지 않는 경우에는 최상의 자료로 평가되는 것을 대표적 연령으로 사용하였다. 가장 신뢰도가 높은 연령 분석방법으로 평가되는 것은 초고분해능 이온프로브(sensitive high-resolution ion microprobe, SHRIMP) 또는 레이저사마 유도결합플라즈마 질량분석기(laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometer, LA-ICP-MS)에 의한 U-Pb 연대이다. 일반적으로 SHRIMP 저어콘 U-Pb 분석이 가장 우수하다고 생각되며, LA-ICP-MS에 의한 저어콘 U-Pb 방법도 거의 필적할만한 신뢰도를 갖는 것으로 평가한다. 이들은 25마이크론 내외의 분석직경을 갖는 분석점에 대한 측정 자료들을 생산하기 때문에 기존 지각물질의 용융 또는 혼화를 겪은 화강암질 암석등에서 흔히 나타나는 정치연령보다도 더 오래된 연령의 상속핵(herited core)을 피하여 분석할 수 있는 장점이 있기 때문에 정치연령에 대한 신뢰도를 더욱 높게 평가할 수 있다.

SHRIMP 또는 LA-ICP-MS를 이용한 U-Pb 연대 분석 다음으로 신뢰도를 높게 평가하는 연령 분석방법은 열이온화질량분석기(thermal ionization mass spectrometer, TIMS)를 이용한 저어콘 또는 스피네의 U-Pb 연대측정이다. 열이온화질량분석 자체는 가장 뛰어난 정확도와 정밀도로 동위원소 분석을 할 수 있는 분석법이고, 저어콘이나 스피네는 상당히 높은 폐쇄온도를 갖기 때문에 화성암의 정치연령을 분석하는데 매우 좋은 방법이라고 할 수 있다. 하지만 뛰어난 공간분해능으로 입자 내부의 원하는 지점만을 분석할 수 있는 SHRIMP 또는 LA-ICP-MS를 사용하는 분석법과는 달리 열이온화 질량분석법의 경우에는 여러 개의 입자들 또는 경우에 따라서는 단일 입자를 모두 용해시켜 분석하기 때문에 내부에 포함된 연령이 다른 상속핵들이 분석에 포함될 수 있다. 이 경우 일치곡선(concordia)으로부터 벗어나는 분석값을 보이게 되며, 마그마 형성시 포함된 근원암을 반영하는 상속핵의 연령이 여러 종류일 경우에는 불일치선이 하나

로 형성되지 않을 수도 있다. 따라서 분석된 연령이 일치곡선상에 놓이지 않아 불일치선(discordia)을 작도하여야 하는 경우에는 연령산출 및 해석에 상당한 주의가 필요하다.

열이온화질량분석에 의한 스핀 U-Pb 연대측정의 경우 저어콘에 비해 다소 보통납(common Pb)의 함량이 더 많을 수 있고, 폐쇄온도 역시 더 낮을 수 있다. 이러한 점들은 스핀 U-Pb 연령보다는 저어콘 U-Pb 연령이 정치연령을 더 잘 나타낼 수 있는 요인으로 평가될 수 있다. 하지만 상속핵이 높은 빈도로 나타나는 저어콘과는 달리 스핀에서는 상속핵의 존재가 자주 보고되지 않기 때문에 화성암에 나타나는 대부분의 스핀은 마그마로부터 직접 정출한 것으로 판단된다. 따라서 스핀에 포함된 보통납의 양이 상당히 우려할만한 수준이 아니고, 또한 심성암체가 매우 천천히 냉각되어 저어콘과 스핀 두 광물의 폐쇄온도 차이로 만들어지는 연령의 차이가 매우 심각한 극단적인 경우가 아닌 한은 스핀으로부터 구한 열이온화질량분석 U-Pb 연령을 저어콘으로부터 구한 연령보다 신뢰도를 오히려 더 높게 평가할 수도 있다. 특히 저어콘이 많은 양의 상속핵들 포함하여 U-Pb 동위원소 분석치가 일치곡선으로부터 상당히 떨어져 놓이는 값을 가지며 단일 불일치선을 잘 형성하지 않는 경우에는 스핀에 대한 U-Pb 연령이 정치연령을 더 정확하게 나타내는 것으로 해석하는 것이 옳다고 판단한다.

이 연구에서는 전자현미분석기(electronprobe micro analyzer, EPMA)를 이용한 저어콘과 모나자이트 등에 대한 화학연대측정법(소위 CHIME법)의 결과는 포함하지 않았다. 비록 CHIME법이 높은 폐쇄온도를 갖는 광물들을 대상으로 하고, EPMA가 매우 뛰어난 공간분해능을 갖는 장점 때문에 상당히 유용한 연대 측정 결과를 가져올 수 있는 연대측정법으로 평가될 수 있다. 그러나 EPMA가 가진 본질적인 한계 때문에 매우 낮은 농도의 분석은 어렵기 때문에 비교적 젊은 지질연대의 측정시에는 저어콘이나 모나자이트 같은 분석대상 광물 내에 낮은 농도로 들어가있는 방사기원 Pb의 분석에 상당한 제약이 따른다. 이 경우 바탕값 또는 기기적 배경값의 보정에 따라 산출 연령이 민감하게 변할 수 있고 젊은 연령에 대해서는 잠재적으로 큰 오차가 발생할 수 있는 가능성이 높다. 또한 국내의 화강암질 암체들에 대해 보고된 CHIME 연대측정 결과들을 보면 실제 정치연령과는 상당히 다른 경우가 있다. 예를 들어 대강 엽리상 화강암의

경우 모나자이트에 대한 CHIME 연령이 178 ± 2 Ma(Cho et al., 1999), 저어콘에 대한 CHIME 연령이 183 ± 3 Ma (Cho and Suzuki, 1999)으로 보고되었다. 하지만 동일한 암체에 대한 열이온화질량분석기 U-Pb 저어콘 연령은 212 ± 8 Ma(Turek and Kim, 1995), 그리고 SHRIMP U-Pb 저어콘 연령은 219 ± 3 Ma (Cho et al., 2008)로 보고되었으며, 보편적으로 훨씬 더 신뢰성있는 분석법으로 평가되고 있는 열이온화질량분석기와 SHRIMP에 의한 삼첨기 연령이 대강화강암의 정치연령으로 받아들여지고 있다. 이 암체에 대한 CHIME 연령이 왜 실제 정치연령과 상당한 차이를 보이는지는 현재로서는 정확하게 평가할 수 있는 근거자료가 없지만 혼란을 피하기 위해서 한반도의 다른 지역 암체들에 대한 CHIME 연대측정결과들은 논의에서 제외하였다. 하지만 이와 같이 자료를 제한하더라도 이 연구에서의 논의에 큰 지장이 없을 것으로 판단한다.

Rb-Sr, K-Ar 또는 Ar-Ar 연대측정방법들은 전통적으로 많이 활용되어왔던 지질연령측정 방법이기도 하지만 비교적 낮은 폐쇄온도를 가지며 동시에 풍화변질에도 취약한 경향이 있다. 실제로 보고된 연령을 보더라도 U-Pb 연령과 Rb-Sr, K-Ar 또는 Ar-Ar 연령들 사이에 상당한 차이를 보이는 경우가 종종 발견되기 때문에 이 연구에서 연령의 종합과 그 결과를 바탕으로 한 논의에서는 제외하였다.

국제지질연대표(Gradstein et al., 2004)에 따르면 연구대상인 유라기(199.6-145.5 Ma)의 총 기간이 54.1 Ma이고 이 중에서 한반도에 활발한 화성활동이 나타나는 시기인 초기 유라기(199.6-175.6 Ma)와 중기 유라기(175.6-161.2 Ma)는 각각의 폭이 24.0 Ma와 14.4 Ma에 불과하기 때문에 오차가 큰 정밀하지 않은 자료들을 포함하는 것은 큰 의미가 없다. 따라서 2σ 기준으로 분석오차가 ± 5 Ma 이상되는 것은 혼란을 피하기 위해서 대부분 배제하였다.

이 연구의 대상인 유라기 심성암체들 중에는 단독 암주상으로 분포하는 암체도 있지만 대부분의 경우 띠 모양으로 분포하는 서로 연결되어 있는 암체가 대부분이다. 따라서 연구자들마다 암체에 대한 명칭이 통일되지 못한 경우가 종종 발생한다. 암체의 명칭을 일관되게 부여하는 것은 이 논문의 범위를 벗어나는 것으로 판단되며, 다만 이 논문에서는 혼란을 피하기 위하여 암체의 위치에 대하여 쉽게 파악할 수 있도록 가끔씩 군단위의 지명을 사용하고, 그 안에서의 위치

를 표시할 필요가 있는 경우에는 면단위 또는 리단위의 지명을 병기하였다.

Wu et al.(2007)가 보고한 북한 화강암질암들에 대한 LA-ICP-MS U-Pb 저어콘 연령들 중에도 주라기의 화강암들이 포함된다. 경성 감모('Kyongsong Gammo'로 표기된 것을 옮긴 것임) 반상화강암이 173 ± 1 Ma, 강서 남포 변형 복운모화강암은 172 ± 2 Ma로 옥천대 및 경기육괴에서의 주된 주라기 심성화성 활동 시기와 비슷하다. 하지만 북한지역의 전체적인 경향성을 파악할 수 있을 만큼 연령이 분석된 암체의 수가 충분하지 않다. 또한 북한의 경우 남한지역과는 달리 더 북쪽지역에서의 섭입작용에 의한 영향을 배제할 수 없기 때문에 일단 북한지역의 주라기 화성활동은 제외하고 남한지역의 주라기 암체들에 한정하여 논의한다.

심성암 연령범위의 한정

이 연구에서는 논의의 대상을 한국의 주라기 화성활동으로 한정하였기 때문에 주라기 이전의 중생대 화성활동은 포함하지 않았으며, 제외된 심성암체에는 영남육괴의 산청군 산청읍-차황면-신등면 일대에 분포하는 화강암-섬강암-섬록암-반려암 복합체가 포함된다. 이 심성암 복합체에 포함된 것으로 볼 수 있는 울현리 엽리상 화강암과 차황면의 섬강암의 연령은 Kim and Turek(1996)에 의해 각각 195.0 ± 2.5 Ma 및 196.9 ± 1.3 Ma로 보고되어 주라기에 포함될 수 있다. 하지만 이 복합체를 구성하는 섬록암의 연령이 209.7 ± 2.3 Ma(Kim and Turek, 1996), 반려암이 203.8 ± 3.3 Ma(Kim et al., 2003)와 같이 삼첩기말의 연령을 갖는 것으로 보고되었다는 점과 이미 엽리가 발달한 울현리 화강암이 다른 심성암체 내에 포획되고 있는 점을 감안하면 울현리 화강암이 오히려 더 오래된 삼첩기의 정치연령을 가져야만 할 것으로 판단된다. 최근 서재현과 송용선(2010)에 따르면 이 지역 심성암 3개 표본의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연령이 228-235 Ma로 나타났으며, 서로 다른 마그마들 사이의 혼합을 보이는 암체들 중에서 규장질인 부분의 2 시료를 분석한 결과는 205-216 Ma로 나타났다고 보고하였다. 이를 종합하면 산청군의 심성암복합체는 주라기 이전의 화성암 복합체로 판단된다. 따라서 주라기 동안의 화성활동을 다루는 이 연구의 논의대상에서는 제외하기로 한다.

결과 및 토의

앞에서의 자료선택 기준을 따라 선별한 한국의 주라기 화성활동에 대한 연대측정 자료는 Table 1과 2에 종합하였으며, 이를 Fig. 1과 2에 도시하였다. 이러한 결과를 우선 영남육괴지역, 옥천대와 그 주변지역, 경기육괴지역 등으로 지괴 및 지리적 위치에 따른 화성암의 연령분포를 살펴본 다음에 각 지질시대별 주라기 화성활동의 분포특성에 대하여 토의한다.

영남육괴의 주라기 심성암체

영남육괴에서는 비교적 많은 암체들에 대하여 신뢰도가 상당히 높은 것으로 평가되는 연대자료들이 보고되어 있다. 여기에는 거창지역 화강암류에 대한 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대자료(한미 외, 2010b), 김천지역 화강암류에 대한 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대자료(이호선 외, 2006), 봉화군 명호면 지역의 전단대에서 나타나는 화강암류에 대한 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대자료(Kim et al., 2009), 남원과 영덕 지역의 화강암류에 대한 TIMS 저어콘 U-Pb 연대자료(Turek and Kim, 1995; Kim et al., 2003) 및 함양, 거창, 김천, 성주, 영주, 안동 및 청송 지역의 화강암류에 대한 TIMS 스피너 U-Pb 연대자료(Sagong et al., 2005; 박계현 외, 2005, 2006)들이 포함된다. 이러한 영남육괴 주라기 심성암체들로부터의 U-Pb 연대측정 결과들을 Table 1에 종합해 놓았다.

이 연구에서는 기존 연구에서 서로 일치하지 않는 결과들을 보고한 경우 보다 신뢰도가 높다고 판단되는 자료를 선별하여 논의에 포함하였다. 수록된 자료를 통해 영남육괴지역의 주라기 심성암체의 연령분포 특징을 논의하기에 앞서서 이와 같은 자료선별 내용을 살펴보면 다음과 같다.

영남육괴 연령자료 종합에서 제외된 결과에는 Turek and Kim(1995)이 보고한 함양군 안의면 면소재지 인근의 KH-5가 포함된다. 보고된 분석결과를 살펴보면 9개의 분석집단 중에서 일치곡선상에 놓이는 것은 없으며, 9개 자료 중에서 7개를 제외하고 2개만으로 불일치선을 작도하여 177 ± 6 Ma의 연령을 구하였기 때문에 추가적인 연구를 통해 보다 확실한 연령을 확인할 필요가 있다고 판단하여 일단 논의에서 제외하였다. 참고로 이 표본의 채취지점으로부터 남남서로 약 2 km 지점에서 채취한 표본에서 구한 박계현 외(2006)의 열이온화질량분석기 스피너 U-Pb 연

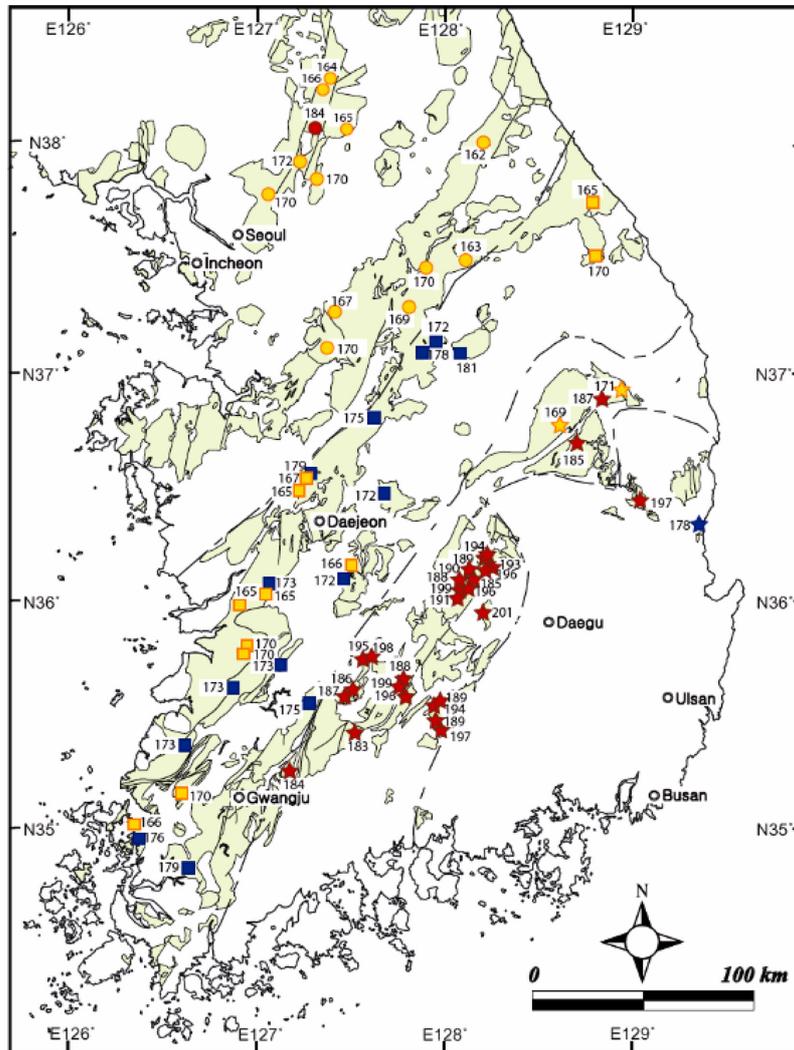


Fig. 1. Distribution of the Jurassic plutons over the Korean peninsula. All the age data are from the published literatures (see the Table 1 and 2 for the data sources). Stars are Yeongnam massif, squares are Okcheon belt and its vicinity area and circles are Gyeonggi massif. Long dashed lines are approximate boundaries between such divisions. Ages of the plutonic rocks are distinguished by the colors; reds are 200.0-180.0 Ma, blues are 179.9-172.0 Ma and yellows are 171.9-160.0 Ma.

령은 195.6 ± 1.8 Ma로 앞에서 언급한 연령과는 상당한 차이를 보이며, 영남육괴 전체적으로도 180 Ma 이후의 연령을 갖는 화강암질 암석은 매우 드물다는 것을 이 어지는 논의에서 확인할 수 있다.

예천전단대의 명호지역에 나타나는 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류에서 분리한 저어콘들의 연변부에서 분석된 178.4 ± 3.1 Ma의 연령은 저자들이 연성전단운동 시기에 성장한 것으로(Kim et al., 2009) 해석하였기 때문에 이 연구의 관입연령 논의로부터는 제외

하였다.

영남육괴 남서부지역에 분포하는 남원화강암에 대한 연대측정 결과는 Turek and Kim(1995)이 보고한 176.0 ± 2.8 Ma의 열이온화질량분석기 저어콘 U-Pb 연령과 Sagong et al.(2005)이 보고한 183.1 ± 1.6 Ma의 열이온화질량분석기 스피넬 U-Pb 연령이 있다. 두 연령은 오차범위를 감안해도 서로 겹치지 않는다. Turek and Kim(1995)의 연령은 분석값들 중의 일부를 제외시키고 나머지 자료들로 작도한 불일치선의 하부교점

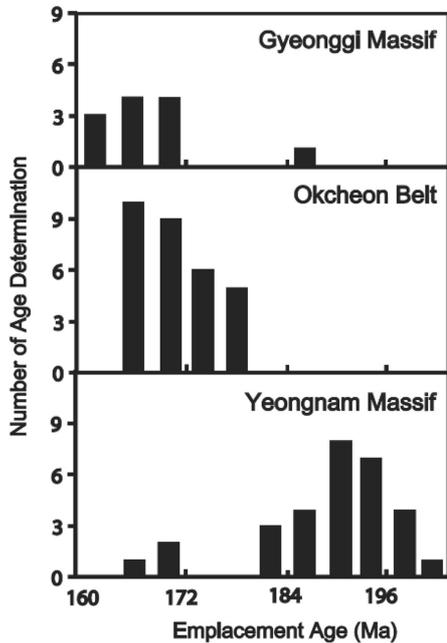


Fig. 2. Histograms of age distribution for the Korean Jurassic plutons. Three histograms represent the Jurassic plutons located within three geographic divisions, such as Yeongnam Massif, Okcheon Belt and its northern and southern border areas, and Gyeonggi Massif and its southern border area. It is worth noting that the emplacement time periods are distinct among such geographic divisions.

연령이다. 불일치선을 작도하는데 사용된 분석값들이 일치곡선으로부터 다소 거리를 보이는 지점에 위치하고 있는 것을 감안한다면 보다 정밀한 연령을 얻기 위해서는 추가적인 분석을 통한 확인이 필요하다고 판단된다. 저어콘의 경우 연령을 달리하는 상속핵들을 포함되는 경우가 종종 있기 때문에 불일치선으로부터 구한 연령은 부정확할 가능성도 있다. 이러한 점을 감안한다면 마그마로부터 정출된 것으로 추정되는 스피네에 대한 연대측정결과인 Sagong et al.(2005)의 값인 183.1 ± 1.6 Ma가 보다 더 정치연령을 잘 대표할 수 있는 값으로 판단하여 남원화강암의 정치연령으로 Table 1에 수록하였다.

Table 1에 수록한 영남육괴에 분포하는 쥐라기 심성암체들의 정치연령을 지질연대표(Gradstein et al., 2004)상의 지질시대구분과 비교해보면 대부분 초기 쥐라기($199.6 \pm 0.6 \sim 175.6 \pm 2.0$ Ma)에 해당한다. Table 1에 정리해놓은 연대자료를 살펴보면 영남육괴에서는 삼첩기와 쥐라기의 경계시기로부터 화성활동이 활발

하게 시작되어 Hettangian($199.6-196.5$ Ma) 동안에 영남육괴 중부의 함양, 거창, 성주 및 김천 지역과 영남육괴 북동부의 청송지역에 화강암체들이 관입한 것으로 나타난다. 이러한 화성활동은 Sinemurian($196.5-189.6$ Ma) 및 Pliensbachian($189.6-183.0$ Ma) 동안에도 지속되어 영남육괴 남서부의 남원과 장수 지역, 중부지역의 함양, 거창 및 김천 지역 그리고 영남육괴 북동부의 안동 지역에 추가적인 화강암체들이 관입하였다. 또한 예천전단대의 명호지역에 나타나는 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류 역시 이 시기에 관입하였다.

Hettangian부터 Pliensbachian까지는 영남육괴 전반에 걸친 활발한 화강암질 암체들의 관입이 있었던 것과는 대조적으로 뒤 이은 Toarcian($183.0-175.6$ Ma)에 해당하는 화성활동은 현재까지는 177.8 ± 2.4 Ma로 보고된 북동 영남육괴의 영덕군 병곡면 지역의 화강암(Kim et al., 2003)이 유일하다. 한편 영남육괴 북동부 영주지역의 화강암질 저반은 앞에서 언급한 영남육괴의 다른 화성암체들보다는 상당히 늦은 중기쥐라기인 171.3 ± 2.3 Ma의 연령을 갖는 것으로 보고되었다(Sagong et al., 2005).

이상을 종합해보면 영남육괴에서의 쥐라기 화성활동은 초기 쥐라기 중에서도 특히 Hettangian, Sinemurian 및 Pliensbachian 동안에 활발한 활동을 보이지만 Toarcian에는 화성활동이 거의 멈추었으며, 영주지역에서만 중기쥐라기의 화강암질 관입이 있었던 것으로 나타난다.

옥천대의 쥐라기 심성암체

한반도 중부지역에는 옥천대와 경기육괴의 사이에 북동-남서 방향으로 긴 띠 모양의 화강암체가 분포한다. 북동쪽에서는 두 갈래로 분포하지만 남서쪽으로 가면서 하나로 합쳐졌다가 더 남서쪽으로 가면서 다시 두 갈래로 나뉘어진다. 이 연구에서는 이러한 북동-남서방향의 띠 모양 화강암들을 둘로 나누어 북쪽의 것은 경기육괴의 내부에 분포하는 심성암체와 함께, 그리고 남쪽의 것은 옥천대의 내부 및 그 남쪽에 분포하는 화강암체들과 묶어서 Table 2에 수록하였다.

Table 2의 자료들 중에서 우선 옥천대와 그 남북 지역에 분포하는 쥐라기 심성암류의 연령분포를 종합적으로 논의하기에 앞서 서로 다른 결과로 해석될 수도 있는 순창의 엽리상 화강암의 정치연령에 대하여 간략하게 살펴보기로 한다. Turek and Kim(1995)은

Table 1. Compilation of emplacement ages for the Jurassic plutonic rocks of the Yeongnam massif, Korea

Locality	Rock Type	Method	Mineral	U-Pb Age (Ma)	References
Southwestern Yeongnam massif					
Namwon	hb-bt granodiorite	TIMS	sphene	183.1±1.6	Sagong et al.(2005)
Jangsu*	foliated granodiorite	TIMS	zircon	186.9±2.6	Turek and Kim(1995)
Central Yeongnam massif					
Geochang	diorite	SHRIMP	zircon	190.2±0.7, 189.9±1.0	Han et al.(2010b)
Geochang	biotite granite	SHRIMP	zircon	188.8±1.0, 193.5±3.9	Han et al.(2010b)
Geochang	hornblende granite	SHRIMP	zircon	195.9±1.5, 193.2±1.7	Han et al.(2010b)
Geochang (Mari)	granite	TIMS	sphene	194.6±2.6	Park et al.(2006)
Geochang (Buksang)	granite	TIMS	sphene	198.4±2.5	Park et al.(2006)
Geochang (Sinwon)	foliated granodiorite	TIMS	sphene	194.2±2.4	Park et al.(2006)
Geochang (Sinwon)	foliated granodiorite	TIMS	zircon	188.9±3.1	Kim and Turek(1996)
Hamyang (Hwanggokri, Anui)	granodiorite	TIMS	sphene	195.6±1.8	Park et al.(2006)
Hamyang (Jigok)	granodiorite	TIMS	sphene	199.1±2.4	Park et al.(2005)
Hamyang	foliated hb-bt granodiorite	TIMS	sphene	188.0±3.3	Sagong et al.(2005)
Gimcheon (Guseong-Jirye)		SHRIMP	zircon	188.2±2.5	Lee et al.(2006)
Gimcheon	foliated hb-bt granodiorite	TIMS	sphene	183.0±3.6, 184.9±2.0	Sagong et al.(2005)
Gimcheon (Guseong)	granodiorite	TIMS	sphene	198.5±2.8, 195.7±2.4	Park et al.(2005)
Gimcheon (Jirye)	granodiorite	TIMS	sphene	190.6±5.4	Park et al.(2005)
Seongju	granodiorite	TIMS	sphene	200.8±1.9	Park et al.(2005)
Northeastern Yeongnam massif					
Bonghwa (Myeongho)	foliated hb-bt granitoid	SHRIMP	zircon	187.2±3.6	Kim et al.(2009)
Andong	foliated hb-bt granodiorite	TIMS	sphene	185.0±1.7, 182.1±1.7	Sagong et al.(2005)
Cheongsong	por hb-bt granite	TIMS	sphene	196.5±7.5	Sagong et al.(2005)
Yeongdeok (Byeonggok)†	granodiorite	TIMS	zircon	177.8±2.4	Kim et al.(2003)
Yeongju	foliated hb-bt granodiorite	TIMS	sphene	169.4±1.6, 165.6±3.0	Sagong et al.(2005)
Yeongju	granodiorite	TIMS	sphene	171.3±2.3	Park et al.(2006)

*FH-1 of Turek and Kim(1995), †Baegseogri of Kim et al.(2003)

열이온화질량분석기로 저어콘의 U-Pb 동위원소를 분석하여 182.6±8.0 Ma가 순창 엽리상 화강암의 정치 연령이라고 보고한 반면에 Sagong et al.(2005)은 스핀 U-Pb 연대측정을 통해 174.9±1.9 Ma의 값을 구하였다. 보고된 정밀도로만 평가할 때 Turek and Kim(1995)의 182.6±8.0 Ma는 비교적 큰 오차값을 갖기 때문에 Sagong et al.(2005)의 174.9±1.9 Ma를 오차범위에 포함하는 점을 감안한다면 두 값을 전혀 다른 값이라고 볼 수는 없으며, 상대적으로 더 좁은 오차범위를 갖는 Sagong et al.(2005)의 연령을 선택하는 것이 합리적이라고 판단된다. 또한 Turek and Kim(1995)의 연령계산에서 제외된 일치곡선에 비교적 가까이 놓이는 분석점들 포함한다면 보고된 값보다 더 젊은 하부교점 연령이 계산될 수 있다는 점을 고려할 때 Sagong et al.(2005)이 보고한 174.9±1.9 Ma

가 순창 엽리상 화강암에 대한 더욱 정밀한 연대측정 자료로 평가된다.

옥천대의 내부에 압주상으로 분포하는 화강암류 및 옥천대의 남쪽과 북쪽을 따라 대상으로 분포하는 쥐라기 심성암체들에 대한 연대측정자료들 중에서 신뢰도가 높은 저어콘 및 스핀에 대한 U-Pb 연대측정 자료에는 부여지역 화강암(Park et al., 2009), 논산-익산지역 화강암(Kim et al., 2005), 김제 및 무안지역 화강암류(이승렬 외, 2003) 등에 대한 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대자료, 영광과 해남지역 화강암류(Kim et al., 2003)에 대한 TIMS 저어콘 U-Pb 연대자료, 보은 화강암(Ree et al., 2001), 충주와 청주지역 화강암(정창식 외, 2003, 2004), 정읍 엽리상 화강암(정연중 외, 2008), 이 밖의 옥천대 내의 여러 지역들에 분포하는 화강암류(Sagong et al., 2005)에 대한

Table 2. Compilation of emplacement ages for the Jurassic plutonic rocks of the Gyeonggi massif and Okcheon belt, Korea

Locality	Rock Type	Method	Mineral	U-Pb Age (Ma)	References
Northern Gyeonggi massif					
Pocheon	bt granite	SHRIMP	zircon	184.0±1.5	Ki et al.(2007)
Pocheon	hb granodiorite	SHRIMP	zircon	171.5±1.1	Ki et al.(2007)
Yangju (Hoecheon)*	bt granite	TIMS	sphene	170.1±3.2	Sagong et al.(2005)
Chuncheon (Sabuk)**	Otanri gabbro	TIMS	zircon	166.2±1.2	Kim et al.(1999)
Hwacheon (Sanae)†	Sachangri por granite	TIMS	zircon	164.7±2.4	Kim et al.(1999)
South of the Gyeonggi massif					
Hongcheon	por biotite granite	TIMS	sphene	162.2±1.9, 160.3±1.9	Sagong et al.(2005)
Anheung	por hb-bt granodiorite	TIMS	sphene	163.2±1.9	Sagong et al.(2005)
Hoengseong††	por hb-bt granodiorite	TIMS	sphene	169.7±1.6	Sagong et al.(2005)
Munmak	hb-bt granodiorite	TIMS	sphene	166.8±1.8, 168.6±1.5	Sagong et al.(2005)
Icheon	hb-bt granodiorite	TIMS	sphene	167.0±1.5	Sagong et al.(2005)
Anseong	foliated hb-bt granite	TIMS	sphene	170.1±1.8	Sagong et al.(2005)
North of the Okcheon belt					
Gangneung	hb-bt granodiorite	TIMS	sphene	165.0±2.4	Sagong et al.(2005)
Chungju (Sancheok)	bt granite	TIMS	sphene	170.5±1.8, 171.9±1.7	Sagong et al.(2005)
Chungju	bt granite	TIMS	sphene	177.8±1.8	Cheong et al.(2004)
Cheongju	bt granite	TIMS	sphene	174.6±2.7	Cheong et al.(2003)
Buyeo	foliated granite	SHRIMP	zircon	178.8±2.0	Park et al.(2009)
Buyeo	granite	SHRIMP	zircon	166.6±1.0	Park et al.(2009)
Buyeo	alkali feldspar granite	SHRIMP	zircon	164.7±4.1	Park et al.(2009)
Nonsan-Iksan	granite	SHRIMP	zircon	173±3, 165±3	Kim et al.(2005)
Hamyol	por bt granite	TIMS	sphene	165.0±2.1, 164.9±3.0	Sagong et al.(2005)
Jeonju	foliated por bt granite	TIMS	sphene	169.6±1.5, 171.7±2.5	Sagong et al.(2005)
Gimje (Geumsansa)	foliated hb-bt granodiorite	SHRIMP	zircon	172.7±1.4	Lee et al.(2003)
Gimje	biotite granite	SHRIMP	zircon	169.6±1.8, 167.5±2.4	Lee et al.(2003)
Jeongeup	foliated granite	TIMS	sphene	172.9±1.7	Jeong et al.(2008)
Yeonggwang	foliated granite	TIMS	zircon	173.0±1.7	Kim et al.(2003)
Okcheon belt and South of the Okcheon belt					
Imgye	foliated bt granite	TIMS	sphene	170.0±3.3	Sagong et al.(2005)
Boeun		TIMS	sphene	171.7±1.4	Ree et al.(2001)
Geumsan	hb granite	TIMS	sphene	166.0±4.9, 166.1±2.0	Sagong et al.(2005)
Sunchang	foliated por bt granite	TIMS	sphene	174.9±1.9	Sagong et al.(2005)
Jangseong	foliated hb-bt granite	TIMS	sphene	170.7±1.8, 170.2±1.7	Sagong et al.(2005)
Muan	hornblende granodiorite	SHRIMP	zircon	176.3±1.7	Lee et al.(2003)
Muan	hornblende granite	SHRIMP	zircon	165.8±2.0	Lee et al.(2003)
Haenam (Sani)	granite	TIMS	zircon	178.8±2.9	Kim et al.(2003)

*Seoul of Sagong et al.(2005), **Otanri and †Sachangri of Kim et al.(1999), ††Hyongseong of Sagong et al.(2005). Abbreviation: hb=hornblende, bt=biotite, por=porphyritic.

TIMS 스핀 U-Pb 연대측정 자료들이 존재한다.

Table 2에 정리한 옥천대 내부 및 옥천대의 남쪽과 북쪽 연변부에 분포하는 쥐라기 심성암체 연대측정 자료를 살펴보면 가장 특징적인 것은 앞서 살펴본 영

남육괴에 비하여 상대적으로 젊은 연령분포를 보인다는 것이다. 이 지역에서는 전체적으로 볼 때 약 179 Ma로부터 약 165 Ma의 연령분포를 보인다. 이러한 연령분포는 앞서 살펴본 영남육괴 내부의 쥐라기 화

성활동이 거의 끝난 이후에 옥천대 내외의 쥐라기 화성활동이 시작되었음을 나타낸다. 이 기간 중에서 가장 초기인 약 179 Ma 부근의 화성활동이 해남(178.8 ± 2.9 Ma), 부여(178.8 ± 2.0 Ma) 그리고 충주(177.8 ± 1.8 Ma) 등지에서 보고되었으며(Kim et al., 2003; Cheong et al., 2004; Park et al., 2009) 이는 지질연대표상의 하부쥐라기의 최후기인 Toarcian(183.0-175.6 Ma)에 해당한다. 뒤 이어 174.6 ± 2.7 Ma부터 165.2 ± 2.4 Ma 시기까지 옥천대의 내부와 남북 연변부 모두에서 거의 연속적인 화성활동이 이어진 것으로 나타난다. 가장 후기인 약 165 Ma 부근의 화성활동은 이 지역의 북동쪽 부분인 강릉과 남서쪽에 위치한 부여, 함열, 금산지역 등에서 보고되었다. 이는 옥천대 및 그 주변지역에서의 쥐라기 화성활동은 중기쥐라기의 최후기인 Callovian(164.7-161.2 Ma) 이전에 종료되었음을 나타낸다. 옥천대 및 그 주변지역 내에서의 쥐라기 화성활동은 특별한 지리적 경향성을 나타내지는 않는 것으로 생각된다.

경기육괴의 쥐라기 심성암체

경기육괴의 주변포지역인 경기도와 강원도 북부지역, 그리고 경기육괴의 남측을 따라 띠 모양으로 분포하는 쥐라기 심성암체들에 대해서도 신뢰도가 높은 저어콘 및 스피넬에 대한 U-Pb 연대측정 자료가 상당수 보고되었다. 여기에는 포천 지역의 화강암질 관입체(기원서 외, 2007)에 대한 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대자료, 경기육괴 오탄리 지역의 반려암과 사창리 지역 화강반암(Kim et al., 1999)과 이 밖의 여러 지역들에 분포하는 화강암류(Sagong et al., 2005)에 대한 TIMS 스피넬 U-Pb 연대측정 자료들이 존재한다.

Table 2의 연대측정 자료들을 살펴보면 경기육괴 내부와 경기육괴의 남측에 분포하는 쥐라기 심성암체들의 연령분포는 하부쥐라기에 속하는 184.0 ± 1.5 Ma의 연령으로부터 중기쥐라기와 상부쥐라기의 경계시기(161.2 ± 4.0 Ma)와 비슷한 160.3 ± 1.9 Ma의 연령까지의 분포를 보인다. 이 중에서 예외적으로 오래된 연령을 보이는 기원서 외(2007)가 보고한 포천지역 흑운모 화강암의 연령 184.0 ± 1.5 Ma를 제외하면 나머지는 약 172~160 Ma의 시기에 해당한다. 이는 거의 대부분이 중기쥐라기로 한정되는 연령분포이며 대부분이 하부쥐라기인 영남육괴의 화성암류에 비해서 현저하게 젊은 정치연령이다. 이는 또한 옥천대와 그 인접지역에서 쥐라기 화성활동이 시작된 약 179 Ma

에 비해서도 훨씬 늦은 시기에 경기육괴 및 그 인접지역의 주된 화성활동이 일어났음을 가리킨다. 가장 후기의 화성활동은 춘천, 홍천 및 안흥 지역에서 있었던 약 166~160 Ma의 시기로 나타난다. Kwon and Cheong(1998)이 보고한 관악산 화강암의 Rb-Sr 전암연령이 165.8 ± 4.7 Ma이기 때문에 관악산 화강암 역시 경기육괴의 가장 후기 관입체의 하나로 평가할 수 있다. 이상에서 살펴본 경기육괴의 쥐라기 화성활동의 연령분포는 경기육괴에서의 주된 쥐라기 화성활동은 불과 10 Ma 전후로 지속되었으며 상부쥐라기(161.2-145.5 Ma)가 시작될 무렵에 화성활동이 종료되었음을 나타낸다.

쥐라기 동안 화성활동 장소의 변천

앞에서 논의한 것처럼 한국의 쥐라기 화성암체들은 지리적 위치에 따라 주된 활동시기에 상당한 차이를 보이고 있다. 영남육괴에서는 삼첩기와 쥐라기의 경계시기인 약 200 Ma경으로부터 활발한 화강암질 암체들의 관입이 나타나며, 대부분 지역에서는 약 183 Ma 무렵에 화성활동이 멈추었다. 하지만 북동영남육괴의 영덕군 백석면 지역에서는 이보다 후기인 177.8 ± 2.4 Ma의 화강암 관입이 보고되었으며, 영주 화강섬록암은 약 170 Ma의 관입연령을 갖는다. 영남육괴의 북쪽에 위치한 옥천대의 경우 쥐라기 화성활동의 시작시기가 상대적으로 늦다. 영남육괴에서는 대부분의 관입이 끝난 뒤인 약 179 Ma쯤에 화강암체의 관입이 나타나기 시작하고, 165 Ma 무렵에 화성활동을 멈춘다. 한편 경기육괴 주변포지에서는 포천의 화강암으로부터 보고된 3개의 저어콘에서 구한 약 184 Ma의 연령을 제외하면 172 Ma 무렵부터 화강암체의 관입이 이루어졌고 약 162 Ma 무렵까지 화성활동이 지속되었다.

이와 같은 지역별 화성활동의 시작과 멈춘 시기를 비교해보면 영남육괴에서의 화성활동이 가장 먼저 시작되었으며, 영남육괴의 활동이 거의 멈춘 이후에 더 북쪽의 옥천대에서 화성활동이 일어나기 시작하였고, 경기육괴에서의 본격적인 화강암질 관입은 조금 더 후기에 나타나는 것으로 볼 수 있다. 옥천대와 경기육괴에서의 쥐라기 화성활동은 상당기간 동시적으로 진행되었다. 하지만 화성활동이 멈춘 시기를 비교해보면 비록 큰 차이는 아닐지라도 경기육괴 안에서는 옥천대 및 그 주변 지역보다 조금 더 후기까지 화강암체의 관입이 있었던 것으로 나타난다. 종합해서 요

약하면 영남육괴로부터 옥천대, 경기육괴지역으로 갈수록 쥬라기 심성암의 정치가 시작된 시기는 물론 끝나는 시기 역시 더 짧아지는 경향성을 보인다.

쥬라기 동안 한국에서의 화성활동이 지괴별 구분에 따라 서로 다른 시기에 나타나는 현상은 당시의 지구조적 환경과 밀접한 관련이 있을 것으로 생각된다. 고생대말-중생대초 시기에 한반도를 비롯한 동북아시아 지역에서 일어난 가장 큰 지구조적 변형은 대륙충돌사건으로 알려져 있다. 이 시기에 중국에서 일어났었던 대륙충돌이 한반도에서도 함께 일어났는지 여부, 그리고 이전에는 떨어져있었던 한국의 각 지괴단위들이 이러한 한반도에서의 대륙충돌로 하나로 합쳐진 것인지 여부는 아직도 논란이 지속되고 있다. 하지만 현재 한반도를 구성하는 여러 지괴들이 고생대말-중생대초의 대륙충돌로 합쳐진 것이라고 해도 쥬라기가 시작될 무렵에는 이미 지괴들 사이의 봉합이 완료되었을 것으로 판단된다. 이는 약 225 Ma 무렵의 삼첩기의 연령을 갖는 화강암체들이 영남육괴, 옥천대, 경기육괴에서 모두 발견되며(Ree et al., 2001; Kim et al., 2003; Sagong et al., 2005; Williams et al., 2009), 이러한 현상은 당시의 한반도 여러 지괴들이 동일한 지구조적 환경에서 동시적인 화성활동을 받은 것으로 해석할 수 있기 때문이다. 따라서 약 225 Ma 시기의 화성활동과는 대조적으로 쥬라기 동안의 화성활동이 각 지구조단위별로 차이가 나는 것은 각 지괴별로 구분되는 차이라기보다는 단순히 남북방향의 지리적 위치에 따른 차이일 가능성이 높다고 판단된다.

쥬라기 동안의 지구조환경을 재구축해보기 위해서는 쥬라기에 관입한 화성암체들의 화학조성이 보여주는 지구조적 환경을 검토해볼 필요가 있다. 한국의 쥬라기 화강암들은 칼크알칼리 계열의 것이 대부분이며 섭입이 일어나는 지구조적 환경에서 생성된 것으로 알려져 있다(예, 윤현수, 1995; Lee et al., 1998; 정연중 외, 2008; Park et al., 2009; 한미, 2010a). 따라서 쥬라기중에 한반도에서 화성활동이 활발하게 일어나는 위치가 왜 점차 북쪽으로 올라가게 되었는지 역시 태평양쪽으로부터 대륙을 향한 섭입과 관련한 당시의 지구조적 환경의 변화와 밀접한 연관이 있을 것으로 생각된다. 섭입대 지역의 마그마 생성위치에 대해서는 오래전부터 많은 연구가 있었으며(예, Marsh and Carmichael, 1974) 일반적으로 섭입대에서 각섬석류의 분해가 일어나는 약 110 km 깊이에 도달하는 지점의 상부에 화산들이 나타난다(예,

Tatsumi, 1986). 따라서 화산들이 나타나는 동일한 장소의 하부에 화강암질 심성암체들이 정치하는 것으로 볼 수 있다. 이러한 깊이는 섭입판의 침강각이 고각인지 아니면 저각인지 여부에 따라서 화성활동이 나타나는 지점으로부터 트랜치까지의 수평적 거리가 달라지게 되며, 섭입판의 침강각은 섭입하는 해양지각의 연령에 좌우된다. 따라서 한반도에서 쥬라기 동안에 나타나는 화성활동의 지리적 위치 변화 역시 당시에 마그마를 만들어내던 섭입판의 섭입이 시작되는 트랜치로부터의 거리와 섭입판의 침강각에 의해 좌우되었을 것으로 해석하는 것이 합리적일 것으로 판단된다.

약 225 Ma 무렵의 중기-후기삼첩기 경계시기에 한반도의 영남육괴, 옥천대, 경기육괴 모두에서 나타났던 화강암질 화성활동이(Ree et al., 2001; Kim et al., 2003; Sagong et al., 2005; Williams et al., 2009) 하부쥬라기에는 영남육괴 내부에서만 집중적인 관입으로 바뀌게 된 것에 주목할 필요가 있다. 당시의 섭입대가 충분히 내륙쪽으로 영향을 주지 못한 것은 몇 가지 요인으로 설명될 수 있다. 이러한 요인에는 한반도로부터 먼 쪽으로 섭입대가 후퇴하여 마그마 생성이 가능한 구역 역시 당시 대륙의 더 바깥쪽으로 이동하였을 가능성, 섭입판의 침강각도가 이전보다 더 고각으로의 변화하여 보다 마그마가 생성되는 구역이 이전보다 더 대륙외부지역에 국한되었을 가능성, 그리고 대륙판에 대한 해양판의 섭입각도가 수직에 더 가까웠던 방향으로부터 더 예각쪽으로 변화하여 해구에 더 가까운 지역에서만 화성활동이 일어나게 되었을 가능성 등을 고려해 볼 수 있다.

영남육괴에서의 화성활동이 주로 하부쥬라기로 한정되고 그 이후의 화성활동은 북동영남육괴 및 더 북쪽의 옥천대와 경기육괴로 이동한 것은 앞에서 논의한 것과는 정반대로의 변화를 필요로 한다. 즉, 섭입대의 위치가 더 내륙쪽으로 이동하였거나, 섭입판의 침강각도가 어 낮아졌거나, 또는 섭입 방향이 보다 더 직각에 가까운 섭입을 하여 마그마창이 더 내륙쪽으로 이동하였을 가능성이 제기된다. 또한 이 시기의 화강암질 화성활동으로 한반도의 여러 곳에 북동-남서 방향의 긴 화강암대가 형성되었으며 이는 마그마의 생성량 역시 크게 증가하였음을 반영한다. 영남육괴에서는 이 시기의 화성활동이 영주와 영덕군 병곡면 등의 북동부 일부지역에 국한되는 것은 해구까지의 거리가 너무 가까워서 섭입판의 깊이가 마그마

가 생성될 수 있는 깊이에 도달되지 못하였을 가능성이 있다.

것으로 생각한다.

결 론

쥬라기 화성활동의 중단

한반도에서의 쥬라기 화성활동이 종료된 시점을 살펴보면 화성활동의 후기인 167-160 Ma의 정치연령을 갖는 것들이 상당한 수로 보고되고 있으며, 이 시기의 화강암 관입 이후에 갑자기 화성활동이 멈추고 상당히 오랜 기간 화성활동이 기록되지 않음을 알 수 있다. 공교롭게도 이 시기의 관입암 중에서는 그 이전의 화성암들과는 다른 특이한 화학조성을 갖는 것이 나타난다. 이는 부여와 관악산의 알칼리 화강암체로 A-형 화강암의 특징을 보인다(Kwon et al., 1995; Park et al., 2009). 판내부에서 후충돌 환경 또는 신장력에 의한 열곡의 발달과 같은 지구조적 환경에서 생성되는 것으로 알려진 A-형 화강암이 쥬라기의 화성활동의 마지막 시기에 나타나는 것은 상당한 의미를 갖는다고 생각한다. 이는 이 시기에 섭입과 관련한 칼크알칼리 계열의 마그마가 주로 만들어지는 지구조환경으로부터의 큰 변환이 일어났음을 시사한다. 한반도의 화성활동이 멈춘 이 시기에 섭입이 시작되는 해구로부터 한반도까지의 거리가 아주 멀어졌을 가능성도 고려해볼 수 있다. 그러나 A-형 화강암이 출현하는 것을 감안하면 해구까지의 거리보다는 섭입의 각도가 갑자기 변화했을 가능성이 더 높다고 생각된다. 즉 거의 수직에 가까운 섭입각도를 보이던 해양판의 움직임이 훨씬 예리한 각도로 섭입하게 바뀌면서 한반도에는 더 이상 섭입에 의한 화강암질 마그마의 관입이 없었을 것으로 판단된다. 이러한 섭입 방향의 변화로 한반도에는 오히려 약간의 신장력이 작용하게 되었고, 이에 따라 A형 마그마의 활동이 나타났던 것으로 해석된다. 섭입방향이 다시 수직에 가까워 바뀌어 한반도에 화강암질 화성활동이 재개된 백악기의 약 110 Ma에 이르기까지 이러한 섭입각도가 크게 변화하지는 않은 것으로 판단된다.

쥬라기 동안의 북서 태평양지역 해양판들이 거의 보존되어있지 않으며 이에 따라 당시의 정밀한 고지자기 자료의 획득이 힘들기 때문에 이 논문에서의 지구조환경 논의를 고지자기 자료에 근거하여 복원된 고지리 또는 판구조운동과 비교하기 어렵다. 하지만 역으로 한반도에서 일어났던 화성활동의 종류와 지리적 변천사를 이용하면 당시의 판구조운동을 재구축하고 고지리를 추론하는데 상당히 도움이 될 수 있을

한반도의 쥬라기 화성활동은 남쪽으로부터 북쪽으로 이동하면서 지역별로 시작시기와 그치는 시기가 다르게 나타난다. 한국의 쥬라기 화성활동은 영남육괴에서 가장 먼저 시작되었으며, 영남육괴에서의 화성활동이 거의 멈추게된 시점에 옥천대 및 그 주변지역에서 화성활동이 개시되었다. 경기육괴에서의 쥬라기 화성활동은 옥천대 및 그 주변지역에서 화성활동이 진행되고 있는 도중에 개시되었으며 두 지역의 동시적인 화성활동은 약 10 Ma 정도 지속되었다. 이후 옥천대와 그 주변지역에서의 화성활동이 먼저 그친 다음 경기육괴의 화성활동이 중지된 것으로 나타난다.

고생대말-중생대초의 동아시아 대륙충돌사건에 의한 지괴별 봉합은 쥬라기 이전에 거의 완료된 것으로 보이기 때문에 한반도에서의 쥬라기 화성활동 시기가 남쪽에서 북쪽으로 가면서 다르게 나타나는 것은 지괴별 특성이라기 보다는 섭입대로부터의 거리와 같은 지리적 위치 및 섭입환경과 같은 지구조적 변화에 의한 것으로 해석된다. 한반도에서 쥬라기 화성암들의 분포위치가 연령에 따라서 체계적인 변화를 보이는 것은 당시의 동북아시아지역의 고지리 및 지구조환경을 세밀하게 복원하는데도 중요한 자료로 활용될 수 있을 것으로 생각한다.

사 사

이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구이다 (No. 2008-0058809). 논문을 읽고 여러 가지 유익한 조언을 해주신 이승구 박사, 이승렬 박사께 감사드립니다.

참고문헌

- 기원서, 조동룡, 김복철, Richard Armstrong, 2007, 포천 지역 쥬라기 화강암질암의 산상과 SHRIMP U-Pb 저어론 연대측정. KIGAM Bulletin, 11(4), 17-26.
- 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 스피넬 U-Pb 연대. 암석학회지, 14, 1-11.
- 서재현, 송용선, 2010, 남서부 영남육괴 산청-합천지역에서의 트라이아시-유라기 심성 화성활동. 추계지질과학연합학술발표회, 초록집, 198.
- 윤현수, 1995, 포천-의정부 일대에 분포하는 화강암류의 산상과 암석화학. 암석학회지, 4, 91-103.
- 이승렬, 이병주, 조동룡, 기원서, 고희재, 김복철, 송교영, 황재하, 최범영, 2003, 전주전단대 화강암류의 SHRIMP U-Pb 저어콘 연령측정: 호남전단대의 운동시기에 대한 고찰. 한국광물학회한국암석학회 2003년 공동학술발표회 논문집, 55.
- 이호선, 송용선, 박계현, 2006, 상주화강암과 김천화강암의 SHRIMP U-Pb 저어콘 연대보고. 대한지질학회 추계학술발표회, 초록집, 108.
- 정연중, 정창식, 박천영, 신인현, 2008, 정읍엽리상화강암의 지구화학 및 동위원소 특성과 U-Pb 스피넬 연대. 지구과학회지, 29, 539-550.
- 정창식, 정연중, 길영우, 2004, 중부 옥천대의 중생대 화성활동 시기: 충주-대전 지역 화강암질암의 U-Pb 스피넬연대. 한국암석학회한국광물학회 공동학술발표회 논문집, 21.
- 정창식, 정연중, 길영우, 정기영, 2003, 청주화강암의 U-Pb 스피넬연대. 한국광물학회한국암석학회 공동학술발표회 논문집, 53.
- 한미, 김선웅, 양경희, 김진섭, 2010a, 거창 일대에 분포하는 섬록암류와 화강암류에 대한 암석학적 연구. 암석학회지, 19, 167-180.
- 한미, 김진섭, 이기욱, 김선웅, 2010b, 거창 일대에 분포하는 섬록암류와 화강암류에 대한 암석학적 연구. 한국암석학회(사)한국광물학회 2010년 공동학술발표회 논문집, 123-126.
- Cho, D.-L. and Suzuki, K., 1999, Theory and techniques of the CHIME dating and a CHIME zircon dating of the Daegang alkali granite. Annual Meeting of the Geological Society of Korea, Abstract Volume, 15.
- 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, 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.
- Gradstein, F.M., Ogg, J.G., Smith, A.G., Bleeker, W., and Lourens, L.J., 2004, A new Geologic Time Scale, with special reference to Precambrian and Neogene. Episodes, 27, 83-100. Hong, Y.K., 1986, Geochemistry and K-Ar age of the Imog granite at the southwestern part of the Hambaeg Basin, Korea. Jour. Korean Inst. Mining Geol., 19, 97-107.
- Kim, C.-B. and Turek, A., 1996, Advances in U-Pb zircon geochronology of Mesozoic plutonism in the southwestern part of Ryeongnam massif, Korea: Geochem. J., 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 Seoul-Cheongju-Chooncheon area, Gyeonggi massif, Korea. Geochemical Journal, 33, 379-397.
- 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, 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.
- Kwon, S.-T., and Cheong, C.-S., 1998, Rb-Sr isotope study of the Kwansaksan stock in the Gyeonggi massif, Korea, paper presented at 53th Annual Meeting, Geol. Soc. of Korea, Busan, South Korea.
- Kwon, S.-T., Shin, K.B., Park, H.K. and Mertzman, S.A., 1995, Geochemistry of the Kwansaksan alkali feldspar granite: A-type granite? Jour. Petrol. Soc. Korea, 4, 31-48.
- Lee, J.I., Jwa, Y.J., Park, C.-H., Lee, M.J. and Moutte, J., 1998, Petrology and geochemistry of the Youngju and Andong granites in the northeastern Yeongnam massif, Korea. Geoscience Journal, 2, 1-14.
- Marsh, B.D. and Carmichael, I.S.E., 1974, Benioff zone magmatism. Jour. Geophys. Res., 79, 1196-1206.
- Park, Y.S., Kim, S.W., Kee, W.-S., Jeong, Y.-J., Yi, K. and Kim, J., 2009, Middle Jurassic 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 post-collisional syenite plutons in the Sino-Korean craton: an example from North Korea. Geological Magazine, 145, 637-647.
- Ree, J.-H., Kwon, W.-H., Park, Y., Kwon, S.-T., and Park, S.H., 2001, Pre-tectonic and post-tectonic emplacements of the granitoids in the south central Okchon 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.

- 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 Research*, 18, 479-496.
- Tatsumi, Y., 1986, Formation of the volcanic front in subduction zones. *Geophysical Research Letters*, 13, 717-720.
- Turek, A. and Kim, C.-B., 1995, U-Pb zircon ages of Mesozoic plutons in the Damyang-Geochang area, Ryeongnam massif, Korea. *Geochemical Journal*, 29, 243-258.
- Williams, I.S., Cho, D.-L. and Kim, S.W., 2009, Geochronology, and geochemical and Nd-Sr isotopic characteristics, of Triassic plutonic rocks in the Gyeonggi Massif, South Korea: Constraints on Triassic post-collisional magmatism. *Lithos*, 107, 239-256.
- Wu, F.-Y., Han, R.-H., Yang, J.-H., Wilde, S.A., Zhai, M.-G. and Park, S.-C., 2007, Initial constraints on the timing of granitic magmatism in North Korea using U-Pb zircon geochronology. *Chemical Geology*, 238, 232-248.
-
- 2010년 11월 11일 접수
2010년 11월 12일 심사개시
2010년 12월 3일 채택