

영남육괴 중부 김천, 성주 및 안의지역 화강섬록암의 스피넬 U-Pb 연대

박계현^{1,*} · 이호선¹ · 정창식²

¹부경대학교 환경 · 해양대학 환경지질학과, ²한국기초과학지원연구원 연대측정팀

Sphene U-Pb ages of the granodiorites from Gimcheon, Seongju and Anui areas of the middle Yeongnam Massif

Kye-Hun Park^{1,*}, Ho-Sun Lee¹ and Chang-Sik Cheong²

¹Department of Environmental Geosciences, Pukyong National University

²Geochronology Team, Korea Basic Science Institute

요약: 이 연구에서는 영남육괴 중부의 김천, 성주 및 안의 지역에 분포하는 화강섬록암들에 대하여 스피넬 U-Pb 연대측정을 실시하였다. 연대측정결과는 삼첩기와 쥐라기의 경계시기와 거의 일치하는 $195.7 \pm 2.4 \sim 200.8 \pm 1.9 (2\sigma)$ Ma의 좁은 범위를 나타낸다. 이 암체들은 서로 연결되지 않은 독립암체들이지만 주원소 조성이 매우 비슷하고, 거의 동일한 연대를 나타내는 것으로 보아 동일한 조구조 환경 및 유사한 근원물질로부터 생성된 하나의 스위트를 형성하는 암체들로 취급할 수 있다. 삼첩기-쥐라기초의 연대를 나타내는 영남육괴와 옥천대의 심성암체들의 연대와 지리적 분포를 살펴보면 이 시기의 영남육괴와 옥천대에서는 비교적 짧은 간격으로 지구조적 환경변화가 반복적으로 일어났으며 이에 따라 특징적인 심성암체들이 관입하였음을 알 수 있다. 전반적으로는 압축력이 작용하는 활동적 대륙연변부 환경이 우세하게 작용하였으나, 세부적으로 살펴보면 압축력이 작용하는 섭입환경과 인장력이 작용하는 판내부환경이 여러 차례 반복되어 나타났다. 결론적으로 영남육괴와 옥천대는 삼첩기-하부쥐라기의 시기에 서로 상이한 지구조환경 변화를 겪었으며, 이는 한반도 지각의 시대별 진화를 밝히는데 중요한 단서가 될 수 있다고 생각한다.

핵심어: 영남육괴, 옥천대, 화강섬록암, 스피넬, U-Pb 연대

Abstract: Sphene U-Pb ages were determined for the granodiorites from Gimcheon, Seongju and Anui areas of the middle Yeongnam massif. The determined ages were in the narrow range of $195.7 \pm 2.4 \sim 200.8 \pm 1.9 (2\sigma)$ Ma that are approximately coincident with the boundary between Triassic and Jurassic. Even though the studied plutons are aerially separated, they reveal quite similar major element compositions and almost identical ages, suggesting that they were generated from the similar source materials under the identical tectonic environment and thus they can be considered to form a single suite. Considering the age and spatial distribution of the Triassic to Lower Jurassic plutons of the Yeongnam Massif and Okcheon Belt, it seems that there were episodic changes in tectonic environment in both areas with relatively short intervals. In general, the compressive environment of active continental margin was prevailed. However, the tensional environment of within-plate was also appeared several times intermittently. In conclusion, Yeongnam Massif and Okcheon Belt experienced distinct tectonic environments during Triassic to Lower Jurassic, providing important clue to reveal the crustal evolution of the Korean Peninsula.

Key words: Yeongnam massif, Okcheon belt, granodiorite, sphene, U-Pb age

서 언

지난 10여년간 한반도의 지질연구에서 가장 주목을

끌어온 주제의 하나는 중국의 대륙충돌대가 한반도의 어디를 지나가느냐 이었다고 볼 수 있다. 이러한 관심 속에 다각적인 한반도의 지질연구들에서 그 대상이 선

*Corresponding author: Tel. 82-51-620-6241, Fax. 82-51-628-6432, E-mail. khpark@pknu.ac.kr

캠브리아이거나 현생이거나 관계없이 충돌대의 연장문제와 관련하여 논의가 전개된 것이 상당수를 차지한다. 그러나 아직도 한반도에서의 동시기 대륙충돌대 위치는 해결되지 않은 과제로 남아있다. 이 연구 역시 한반도의 대륙충돌대 위치와 관련한 논의를 포함한다.

두 대륙 사이의 거리가 점차 가까워지고 결국에는 충돌에까지 이르려면 두 대륙 사이의 판 경계는 수렴 경계이어야 함은 자명하다. 따라서 이러한 수렴경계에서 한 쪽 판의 섭입이 일어나고, 이에 따라 다른 쪽 판의 경계부 혹은 경계부 안쪽 부분에서는 수렴경계의 특징을 보이는 화성활동이 일어나게 된다. 남중국과 북중국의 충돌시기를 포함하는 고생대말-중생대초 시기의 한반도에 2개 이상의 판이 존재했음을 직접적으로 나타내는 오피(ophiolite)는 아직 발견된 바가 없다. 그러나 수렴경계 화성활동의 전형적인 산물인 화강암이 한반도의 상당한 면적을 점유하고 있다. 과거에는 이러한 화강암들을 대부분 쥬라기의 대보화강암과 백악기의 불국사화강암으로 2분하였으나 최근에는 북중국과 남중국의 대륙충돌시기를 전후한 시기를 나타내는 심성암체들도 있음을 보여주는 연구결과들도 다수 보고되고 있다(Turek and Kim, 1995; Kim and Turek, 1996; Kim *et al.*, 1997; 정창식과 권성택, 1999; Ree *et al.*, 2001; Kim *et al.*, 2003; 조동룡 외, 2003; 정창식 외, 2004).

최근의 연구결과를 보면 삼척기부터 쥬라기초의 연대를 가진 심성암체들은 주로 옥천대와 영남육괴에서만 발견되고 있다. 이러한 지리적 분포는 경기와 영남육괴의 지구조환경 발달사가 달랐을 가능성을 내포하고 있으며, 한반도에서의 대륙충돌대 위치를 결정하는데 중요한 단서를 제공할 가능성도 있다. 따라서 보다 많은 한반도의 심성암체들에 대하여 생성시기를 정확하게 밝히고 생성된 지구조 환경을 밝히는 것이 더욱 필요하게 되었다. 특히 영남육괴에서 정밀한 연대측정이 이루어지지 않은 암체 중에서 삼척기 혹은 쥬라기초의 연대를 가진 것들이 더 있는지를 확인할 필요가 있다고 판단하였다. 이 연구는 이러한 맥락에서 김천, 성주 및 함양일대에 분포하는 화강암류(Fig. 1)를 연구 대상으로 선정하였다. 이 지역에 분포하는 암체들은 K-Ar 연대측정에 의해 삼척기말-쥬라기초로 보고된 바 있다(윤현수와 홍세선, 2003). 그러나 흑운모의 경우 비교적 낮은 폐쇄온도를 가지며, 풍화 변질에 의한 영향도 쉽게 받을 수 있기 때문에 화성암체의 정치시기를 정확하게 지시하기가 어렵다. 이 연구에서는 높은 폐쇄온도를 갖는 스피넬 U-Pb 연대측정을 통해 김천 남부와 성주, 안의지역의 세 암체에 대하여 암체의 정치시

기를 보다 정밀하게 알아내고자 시도하였으며, 그 결과를 다른 연구의 연대측정 결과와 함께 논의한다.

지질개요

연구대상으로 선정된 김천, 성주 및 안의지역의 화강암류에 대한 기존의 연구결과를 살펴보면 다음과 같다. 우선 김천 남부지역에 분포하는 암체는 1:50,000 김천도폭(김상욱 외, 1989)의 중앙부에서 북동향으로 넓게 분포하며, 그 동쪽과 서쪽에서 선캠브리아기의 변성암류를 관입한다. 이 화강암류는 남접한 지레도폭(김상욱과 이홍규, 1970)에서 김천도폭을 거쳐, 북동쪽인 옥산동도폭(이대성 외, 1989)과 선산도폭(정창희 외, 1989)에 걸쳐 길게 대상으로 발달한다. 김천 남부지역에서는 조암광물군의 차이에 의하여 암체의 내측부를 이루는 흑운모 화강암-화강섬록암과 그 양 주변부를 이루는 각섬석 흑운모 화강섬록암으로 구별된다(김상욱 외, 1989). 윤현수와 홍세선(2003)에 의하면 각섬석, 흑운모와 스피넬을 수반함이 일반적 특징인 서부와 남동부의 조립질 화강섬록암에는 유색광물의 덩어리로 되어있는 수십 cm 크기의 염기성 포유암(mafic enclave)이 발달되며, 편마암 복합체와 인접부에서는 접촉방향과 평행한 엽리를 보이기도 한다. 내측부를 이루는 대체로 중립질인 화강암-화강섬록암은 서부 및 남동부의 화강섬록암과 점이적 관계를 이루며, 각섬석이 잘 보이지 않고 훨씬 감소한 포유암의 산출 빈도를 보인다. 윤현수와 홍세선(2003)는 여러 암석화학적 특징 등으로 미루어 외부의 각섬석 흑운모 화강섬록암과 내부의 흑운모 화강암-화강섬록암은 단일 화강암질 마그마 기원의 분화산물로서 전반적으로 주변부보다 내측부가 더 분화된 양상을 보이는 것으로 해석하였다. 각섬석 지압계를 이용하여 이 지역 김천화강암에 대한 정치심도를 연구한 홍세선(2001)은 그 고결압력이 4.2~5.4 kb로 비교적 고른 압력분포를 보이며, 고결 후 조구조운동에 의한 동적 변화는 없었을 것이라고 보고한 바 있다. 이들 암석의 관입시기는 각각 시대미상과 쥬라기(김상욱 외, 1989)로 보고된 바 있으나 윤현수와 홍세선(2003)에 의한 흑운모 K-Ar 연대측정 결과는 197~207 Ma로서, 흑운모의 비교적 낮은 폐쇄온도를 감안하면 이들의 관입정치 시기는 이보다 조금 더 오래된 삼척기 말에 속할 것으로 해석할 수 있다.

성주암체는 앞에서 언급한 김천암체의 동쪽에 위치하며 김천암체와는 2~10 km 폭의 선캠브리아 편마암류를 사이에 두고 떨어져 있는 김천암체보다는 작은 암체이며, 김천도폭(김상욱 외, 1989)과 동쪽의 구미도폭(김정환과 임주환, 1974), 남쪽의 지레도폭(김상욱과

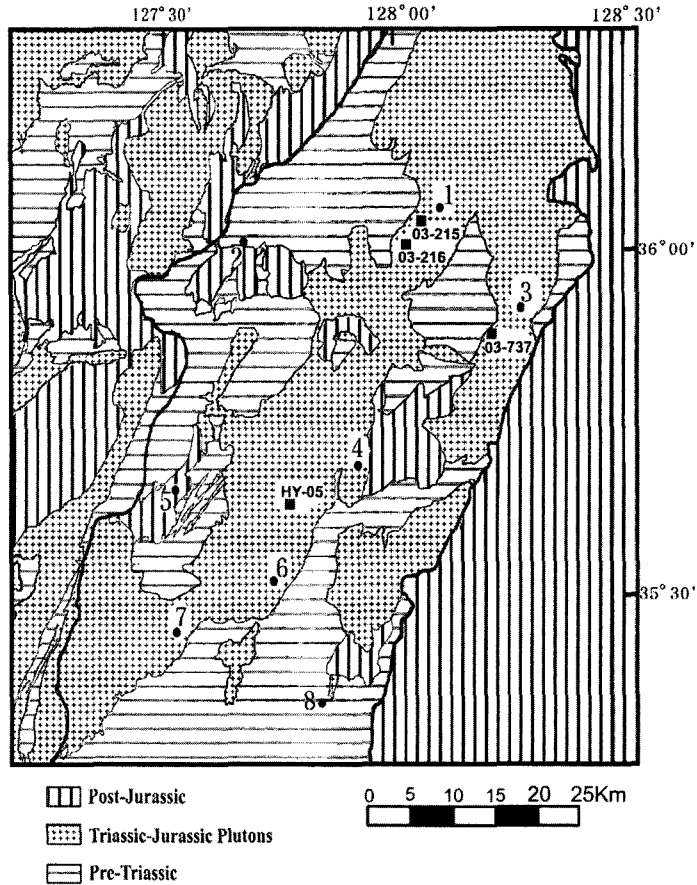


Fig. 1. Geologic map of the central Yeongnam massif. Sample locations are also plotted. 1. Gimcheon, 2. Muju, 3. Seonju, 4. Geochang, 5. Jangsu, 6. Hamyang, 7. Namwon, 8. Sancheong.

이흥규, 1970), 남동쪽의 왜관도폭에 걸쳐 분포하는 암체이다. 큰 규모로 볼 때 김천암체가 김천도폭의 북쪽 옥산동도폭(이대성 외, 1989)과 북동쪽의 선산도폭(정창희 외, 1989)으로 연결되며, 선산도폭의 암체가 다시 선산도폭 남쪽의 구미도폭으로 연결되어 구미도폭까지 연장되는 성주암체와 거의 연결되기 때문에 김천암체와 성주암체는 시기적으로나 성인적으로 밀접한 연관을 갖고 있을 가능성이 있다. 지례도폭에서는 각섬석편마암상 화강암, 김천도폭에서는 흑운모 화강암, 구미도폭에서는 김천 화강암으로 표시되어 있다.

안의암체는 안의도폭(황인전과 박정서, 1968)에서 편마암상섬록암질암으로 분류한 암주상 관입체이다. 인접한 함양도폭(김규봉과 최위찬, 1994)과 함양도폭 북쪽의 장계도폭(홍승호와 윤욱, 1993)은 안의도폭보다 훨씬 뒤에 조사가 되었으며, 이 도폭의 조사자들은 두도폭지역에 널리 분포하며 안의도폭지역으로 연장되는

엽리상 화강암질암들에 대하여 삼첩기 화강암으로 분류하였다. Kim and Turek(1996)은 함양도폭에서 엽리상 반상 화강암으로 분류한 암체의 안의도폭내 연장부에서 약 219 ± 3 Ma의 U-Pb 지어콘 연대를 보고하였으며 이는 이 지역에 삼첩기의 화강암류가 존재함을 확인하여준다. 한편 Kim and Turek(1996)은 안의도폭내에서 이 연구의 대상과 유사한 암질의 신원 엽리상 화강섬록암에 대한 저어콘 U-Pb 연대측정을 통해 189 ± 3 Ma의 결과를 보고하였다.

시료채취 및 U-Pb 분석

연구대상 암석들은 모두 조립질이며, 각섬석을 다량 함유하고 있는 비교적 어두운 색의 암석으로써 노두에서 보면 부분적으로 엽리가 발달하고 있음을 관찰할 수 있다. 또한 엽기성 포유암들을 갖고 있음이 자주 관찰된다. 부경대학교 공동실험실습관의 X-선형광분석기

Table 1. U-Pb sphene ages determined from the granodiorites of Gimcheon, Seongju and Anui areas.

Sample	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (2σ)	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (2σ)	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (2σ)	U (ppm)	Pb (ppm)	$^{206}\text{Pb}*/^{238}\text{U}$ Age (2σ , Ma)	$^{207}\text{Pb}*/^{235}\text{U}$ Age (2σ , Ma)
Gimcheon Granodiorite							
03-215 Feldspar	18.001 ± 0.020	15.641 ± 0.029	38.790 ± 0.095				
03-215 Sphene (with inclusions)	42.72 ± 0.25	16.979 ± 0.099	83.96 ± 0.48	38.58	6.10	198.5 ± 2.8	212.7 ± 17.9
03-215 Sphene (without inclusion)	52.35 ± 0.27	17.470 ± 0.093	101.49 ± 0.54	52.43	7.01	195.7 ± 2.4	207.1 ± 12.4
03-216 Feldspar	17.992 ± 0.084	15.65 ± 0.14	38.80 ± 0.35				
03-216 Sphene	124.21 ± 0.58	21.28 ± 0.10	164.51 ± 0.80	163.48	12.42	190.6 ± 5.4	201.4 ± 9.1
Seongju Granodiorite							
03-737 Feldspar	18.377 ± 0.016	15.593 ± 0.013	38.526 ± 0.035				
03-737 Sphene	101.20 ± 0.38	19.808 ± 0.075	79.17 ± 0.30	315.23	20.90	200.8 ± 1.9	203.5 ± 4.5
Anui Granodiorite							
HY-05 Feldspar	18.001 ± 0.020	15.641 ± 0.029	38.790 ± 0.094				
HY-05 Sphene	100.08 ± 0.35	19.787 ± 0.076	127.27 ± 0.55	106.31	8.71	199.1 ± 2.4	200.5 ± 5.6

로 분석한 주원소 분석자료를 보면 상당히 멀리 떨어진 서로 연결되지 않은 암체들로부터 채취한 시료들임에도 불구하고 SiO₂(62.7~66.5wt%)를 비롯한 대부분의 주원소 함량에 있어 상당한 유사성을 보인다(Table 1).

김천암체로부터 채취된 시료(03-215와 03-216)들은 1 : 50,000 김천도폭(김상욱 외, 1989)에서 시대미상의 각섬석화강섬록암/석영섬록암질암으로 분류된 암석이다. 03-215는 김천시 구성면 광명리를 지나는 3번 국도변의 노두에서 채취하였다. 이 지점은 김천도폭에서 주라기 흑운모화강암과의 경계로 표시되어 있다. 03-216은 김천도폭 남서부에서 3번국도와 901번 도로가 갈라지는 지점에 위치한 노두에서 채취하였다.

성주지역의 시료(03-737)는 1 : 50,000 지례도폭(김상욱과 이흥규, 1970)에서 각섬석편마암상화강암으로 명명된 도폭 동부의 성주 일대에 분포하는 암석으로 성주군 대가면과 수륜면의 경계에 위치한 호령고개로부터 남서쪽으로 약 1 km 지점의 913번 도로변에서 채취하였다.

안의지역의 시료(HY-05)는 1 : 50,000 안의도폭(황인전과 박정서, 1968)에서 안의면과 지곡면 일부를 포함하는 시대미상의 편마암상섬록암질암으로 24번 국도변에 위치한 노두(안의면 남서쪽 약 2.5 km 지점)에서 채취하였다.

분석대상 암석들에 함유된 스피인들은 육안으로도 확실하게 관찰이 되는 비교적 큰 결정으로 산출된다. 스피인 분리는 시료를 암석용 망치나 조분쇄기(Jaw crusher)를 이용하여 파쇄한 후에 육안으로 스피인이 많은 조각들을 골라내어 다시 더 잘게 부수면서 떨어져 나온 스피인들을 회수하였다. 최종적으로는 실체현미경을 통해 장석 등과 같은 다른 광물들이 붙어있지 않은 것들을 골라내었다. 골라낸 스피인들은 대부분 어느 정도의 불투명광물 포유물들을 갖고 있는 것으로 관찰되었다. 포유물의 과다에 따라 분석값에 영향이 있는지를 검토해보기 위해서 03-215시료에서는 포유물이 많은 것과 거의 없는 것을 구분하여 따로 분석하였다. 골라낸 스피인 입자들을 탈이온수로 세척 후 분말을 만들었다. 한편 U-Pb 연대계산을 위한 Pb 동위원소비 초기치(common lead composition) 측정을 위해 스피인과 함께 산출되는 장석을 분리하였다. U-Pb 동위원소 분석을 위한 시료의 용해와 원소의 분리 및 동위원소비 측정은 한국기초과학지원연구원에서 수행하였다.

스핀 수십 mg 정도에 혼합산(HF : HClO₄ = 10 : 1)을 가하고 가열하여 잘 녹인 후 일부 용액을 동위원소희석법을 위해 U-Pb 혼합 스파이크(²³⁵U = 99.987 atom%, ²⁰⁸Pb = 99.874 atom%)를 가해 섞었다. 장석의 경우 동

Table 2. Major element compositions of the granodiorites from Gimcheon, Seongju and Anui areas.

Oxides	03-215	03-737	HY-05
SiO ₂	66.53	64.29	62.66
Al ₂ O ₃	16.91	16.07	17.15
TiO ₂	0.55	0.69	0.57
Fe ₂ O ₃ *	4.25	5.66	5.56
MnO	0.07	0.08	0.09
MgO	1.62	2.27	2.00
CaO	4.34	4.68	4.83
Na ₂ O	4.09	3.18	3.88
K ₂ O	2.26	2.94	2.22
P ₂ O ₅	0.13	0.13	0.13
LOI	0.45	0.83	0.59
Total	101.20	100.84	99.69

Fe₂O₃*: total iron as Fe₂O₃.
LOI: loss on ignition.

위원소희석법은 시행하지 않았다. U, Pb는 HBr 매질과 AG1-X8 수지를 사용하는 음이온교환칼럼화학에 의해 분리하였다. 실험 전 과정의 U, Pb 바탕값은 대략 20 pg, 400 pg 수준이었다. 동위원소 분석은 VG54-30 모델의 열이온화질량분석기를 이용하였는데 U, Pb 동위원소비는 모두 정적인 모드(static mode)로 분석하고 질량분별효과는 U500, NBS981 표준물질의 분석치로부터 외부적으로 보정하였다.

결과 및 토의

스핀에 대한 U-Pb 연대측정 결과는 Table 2와 같으며 계산된 연대값에 대한 오차는 95% 신뢰수준(2σ)의 값이다. 분석된 시료들은 전체적으로 매우 좁은 범위의 연대분포를 보인다. 김천 화강섬록암의 경우 다른 광물의 포유물이 많은 스피인은 198.5 ± 2.8 Ma, 그리고 비교적 순수한 스피인은 195.7 ± 2.4 Ma의 연대를 나타내며, 가까운 지점의 다른 시료로부터 분리한 스피인은 비교적 큰 오차를 보이기는 하나 오차 내에서 겹치는 연대를 나타낸다(190.6 ± 5.4 Ma). 성주 암체는 200.8 ± 1.9 Ma 그리고 안의 암체는 199.1 ± 2.4 Ma로 모두 다 비슷한 연대를 나타낸다. 분석된 시료들의 전체적인 연대 범위가 196~201 Ma로 삼첩기와 주라기의 경계시기와 비슷한 연대를 보여준다. 스피인 U-Pb 연대측정법의 경우 비교적 높은 폐쇄온도를 지시하는 것으로 알려져 있기 때문에(약 600-700°C; Mezger *et al.*, 1991, 1993; Scott and St-Onge, 1995; Zhang and Schärer, 1996) 이러한 연대는 해당 암체들이 정지한 시기를 나타내는

것으로 해석할 수 있다.

연대측정결과가 삼척기와 주라기의 경계시기와 거의 일치하는 195.7 ± 2.4 ~ $200.8 \pm 1.9(2\sigma)$ Ma의 좁은 범위를 나타내며, 이 암체들은 서로 연결되지 않은 독립암체들이지만 주원소 조성이 매우 비슷하고, 거의 동일한 연대를 나타내는 것으로 보아 동일한 조구조 환경 및 유사한 근원물질로부터 생성된 것으로 판단된다. 이는 국내에서는 좌용주(2004)에 의해 최근에 논의가 시작된 화성암 스위트(Bates and Jackson, 1987; White *et al.*, 2001)의 개념으로 볼 때 이들이 하나의 스위트를 형성하는 암체들로 취급될 수 있음을 시사한다. 이 암체들이 삼척기와 주라기의 경계시기를 나타내는 것의 의미를 알아보기 위하여 이 시기를 전후하여 남한에 형성된 화성암체들에 대하여 살펴보기로 한다.

남한에 분포하는 삼척기 주라기초의 화성암체

지난 수십년 동안에 많은 지질학적 연대자료들이 보고되었으며, 특히 삼척기 화강암의 존재에 대하여 많은 논의가 있었다. 그러나 부정확한 연대자료로 인하여 상당한 혼란이 있었던 것 또한 사실이다. 또한 오차가 큰 과거의 연구자료는 남중국과 북중국의 대륙충돌을 전후한 시기의 한반도 지구조환경의 변화와 같이 좁은 범위의 연대오차를 요구하는 논의에 부적합할 수 있다. 다행히 최근에는 상대적으로 정확하고 정밀한 연대측정법이라고 할 수 있는 저어콘이나 스피네에 대한 U-Pb 분석 및 SHRIMP 분석자료들이 상당수 보고되고 있다. 따라서 여기서는 불필요한 혼란을 방지하기 위하여 비교적 최근에 보고된 비교적 오차가 적으며 확실한 정치연대를 가리킨다고 판단되는 열이온화 질량 분석기나 SHRIMP에 의한 저어콘, 스피네에 대한 U-Pb 분석결과들을 위주로 논의한다.

과거에 대보화강암이라고 분류되었던 대부분의 암체들 생성시기는 중부 주라기(176~161 Ma)에 포함된다고 판단된다. 따라서 삼척기~주라기초의 화성암체는 일단 하부 주라기(200~176 Ma) 및 그 이전의 연대를 갖는 것으로 한정하여 이들에 대해 집중적으로 논의한다.

영남육괴의 암체들

영남육괴의 내부에서 나타나는 삼척기-주라기초의 심성암체들을 시대순으로 살펴보면 다음과 같다. 우선 가장 오래된 것은 영남육괴의 북동부에 관입한 영덕 열리상 화강섬록암체이다. 이 암체에 대한 연대측정 결과를 살펴보면 Kim *et al.*(2003)은 252.2 ± 2.9 Ma의 저

어콘 U-Pb 연령을 보고하였다. 이러한 연대는 Sagong *et al.*(1999)이 스피네에 대한 단계적 용출실험으로 구한 247.9 ± 2.9 Ma의 U-Pb 연령 및 정창식과 권성택(1999)이 보고한 241 ± 59 Ma의 Sm-Nd 전암-광물연대와 합치하는 결과이다. 따라서 영덕 화강섬록암은 페름기와 삼척기 경계시기를 전후하여 관입하였음을 알 수 있다.

영덕 화강섬록암체의 인근에 분포하는 영해와 청송 암체들로부터는 영덕 암체보다는 다소 젊은 연대인 238 ± 14 Ma와 226 ± 20 Ma의 Sm-Nd 광물연대가 보고되었다(정창식과 권성택, 1999). 청송암체에 대한 스피네 단계적 용출 U-Pb 연대는 195.7 ± 3.6 Ma로 영덕암체에 비해 훨씬 젊은 시기를 나타낸다(Sagong *et al.*, 1999). 영덕과 영해, 청송암체 모두 섭입대 환경에서 활발한 화성활동이 일어나는 대륙연변부에서 만들어진 화성암으로 해석되었다(Cheong *et al.*, 2002).

영남육괴의 남서부에서는 마천 반려암이 가장 이른 시기인 223 ± 3 Ma에 관입한 것으로 보고되었다(Kim and Turek, 1996). 송용선 외(2004)에 따르면 마천반려암체는 감람석 반려암, 트록토타이트, 우백질 트록토타이트 및 회장암질 암의 여러 암상으로 구성된 층상관입암체이며, SiO₂ 함량이 36~51%에 걸치는 매픽내지 초매픽한 조성을 보인다. 따라서 이 암체는 영남육괴 북동부의 화강암체들과는 달리 상대적으로 매우 높은 온도에서 맨틀의 용융으로 만들어진 것으로 추정되기 때문에 섭입대의 환경보다는 판내부 환경에서 인장력에 의한 맨틀물질의 상승으로 만들어진 화성활동이라고 생각된다.

안의 지역에 열리상 화강암과 열리상 반려암은 219 ± 3 Ma의 시기에 관입한 것으로 보고되었다(Turek and Kim, 1995). 이 연대는 안의도폭과 함양도폭에 걸쳐 분포하는 열리상 반상 화강암질암의 정치시기를 나타낸다. 분석 오차를 감안한다면 이들의 관입 시기가 마천 반려암과 확실하게 구분되지는 않으나 주된 조성이 화강암질인 이 암체가 생성된 환경은 마천 반려암이 생성될 당시와는 다른 지구조환경이었을 것으로 판단된다. 따라서 함양-안의 지역의 열리상 반상 화강암질암의 생성시기는 마천 반려암 관입의 직후였을 것으로 추정된다. 또한 이 지역은 여러 종류의 열리상 화강암류가 대상분포하는 지역으로서 당시의 화성활동 규모가 매우 광범위한 범위에 걸쳐 일어났음을 시사한다.

이로부터 약 1,000만년 이상 지난 뒤인 210 Ma경부터 인접지역에서 다양한 종류의 화성암체들이 자리를 잡았는데 여기에는 산청의 섬록암(210 ± 2 Ma, Kim and Turek, 1996), 산청 반려암(203.8 ± 3.3 Ma, Kim *et al.*, 2003), 차황산 섬장암(197 ± 1 Ma, Kim and Turek, 1996),

Table 3. Emplacement ages of the plutons from the Yeongnam Massif and the Okcheon Belt.

	Locality	Rock	Age (Ma)	Method	Reference	
	Yeongdeok	Foliated granodiorite	252.2 ± 2.9	zircon U-Pb	Kim <i>et al.</i> (2003)	
	Yeongdeok	Foliated granodiorite	241 ± 5.9	Sm-Nd WR-mineral	Cheong and Kwon (1999)	
	Yeongdeok	Foliated granodiorite	247.9 ± 2.9	sphene step leaching U-Pb	Sagong <i>et al.</i> (1999)	
	Yeonghae	Foliated granodiorite	238 ± 14	Sm-Nd WR-mineral	Cheong and Kwon (1999)	
	Chengsong	Granite	226 ± 20	Sm-Nd WR-mineral	Cheong and Kwon (1999)	
	Chengsong	Granite	195.7 ± 3.6	sphene step leaching U-Pb	Sagong <i>et al.</i> (1999)	
	Macheon	Gabbro	223 ± 3	zircon U-Pb	Kim and Turek (1996)	
	Anui	Foliated granite	219 ± 3	zircon U-Pb	Turek and Kim (1995)	
Yeongnam massif	Anui	Foliated gabbro	219 ± 3	zircon U-Pb	Turek and Kim (1995)	
	Sancheong	Gabbro	203.8 ± 3.3	zircon U-Pb	Kim <i>et al.</i> (2003)	
	Sancheong	Diorite	210 ± 2	zircon U-Pb	Kim and Turek (1996)	
	Chawhangri	Syenite	197 ± 1	zircon U-Pb	Kim and Turek (1996)	
	Yulhyeonri	Foliated granite	195 ± 2	zircon U-Pb	Kim and Turek (1996)	
	Sinwon	Foliated granodiorite	189 ± 3	zircon U-Pb	Kim and Turek (1996)	
	NE Namwon	Foliated granite	187 ± 3	zircon U-Pb	Turek and Kim (1995)	
	Namwon	Granite	176 ± 3	zircon U-Pb	Turek and Kim (1995)	
	SW Geochang	Diorite	177 ± 6	zircon U-Pb	Kim <i>et al.</i> (2003)	
	Baekseokri	Foliated granite	177.8 ± 2.4	zircon U-Pb	Kim <i>et al.</i> (2003)	
	Okcheon belt	Goesan	Diorite	233.1 ± 2.0, 220.4 ± 2.1	sphene U-Pb	Cheong <i>et al.</i> (2004)
		Jeomchon	Granite	231.9 ± 3.3	sphene step leaching U-Pb	Sagong <i>et al.</i> (1999)
		Hamchang	Granite	219.3 ± 3.3	SHRIMP zircon U-Pb	Cho <i>et al.</i> (2003)
Daegang		Granite	219.6 ± 1.9	SHRIMP zircon U-Pb	Cho <i>et al.</i> (2003)	
Daegang		Foliated granite	212 ± 8	zircon U-Pb	Turek and Kim (1995)	
Dongbok		Metaporphyr	219 ± 3	zircon U-Pb	Kim and Turek (1996)	
Cheongsan		Granite	225.7 ± 3.7	SHRIMP zircon U-Pb	Cho <i>et al.</i> (2001)	
Cheongsan		Granite	216.9 ± 2.2	sphene U-Pb	Ree <i>et al.</i> (2001)	
Cheongsan		Granite	217.0 ± 3.1	zircon U-Pb	Kim <i>et al.</i> (2003)	
Baengnok		Granodiorite	225.1 ± 2.1	SHRIMP zircon U-Pb	Cho <i>et al.</i> (2001)	
Baengnok		Granodiorite	222.7 ± 2.1	sphene U-Pb	Ree <i>et al.</i> (2001)	
Baengnok		Granodiorite	206.4 ± 3.6	zircon U-Pb	Kim <i>et al.</i> (2003)	
Sunchang		Foliated granite	183 ± 8	zircon U-Pb	Turek and Kim (1995)	
Boeun		Granite	171.7 ± 1.4	sphene U-Pb	Ree <i>et al.</i> (2001)	
Cheongju		Granite	174.6 ± 2.7	sphene U-Pb	Cheong <i>et al.</i> (2003)	
Daejeon		Granite	174.6 ± 2.5	sphene U-Pb	Cheong <i>et al.</i> (2004)	
Chungju		Granite	177.8 ± 1.8	sphene U-Pb	Cheong <i>et al.</i> (2004)	
Sani		Granite	178.8 ± 2.9	zircon U-Pb	Kim <i>et al.</i> (2003)	
Yeonggwang		Foliated granite	173.0 ± 1.7	zircon U-Pb	Kim <i>et al.</i> (2003)	

울현리 엽리상 화강암(195 ± 2 Ma, Kim and Turek, 1996) 등이 포함된다. 이와 같이 다양한 종류의 심성암들이 비교적 짧은 시기에 넓지 않은 지역에 나타나는 것은 이 시기의 지구조적 환경변화가 빠르게 일어났음을 반영하는 것이라고 생각한다. 김용준 외(1989)는 해인사 인근의 회장암을 관입하는 각섬석 반력암 암맥으로부터 204 ± 10 Ma의 각섬석 K-Ar 연대를 얻었으며 이는 산청의 반력암과 같은 시기를 나타낸다. 일

반적으로 엽기성 마그마의 생성은 인장력이 작용하는 환경에서 맨틀로부터 만들어지는 것으로 알려져 있으며, 반면에 비알칼리 계열의 산성암들은 주로 압축력이 작용하는 환경에서 만들어진다. 따라서 짧은 기간에 걸쳐 엽기성과 산성 화성활동이 교호하는 것은 당시 영남육괴의 광역적인 지구조환경은 지판의 수렴경계 가까이에 위치한 환경이었으나 관련된 판들의 이동 방향 변화의 미세한 변동으로 우세하게 나타나는 힘이

일시적으로 인장력과 압축력이 교호되는 양상으로 바뀌었을 가능성을 시사한다.

190 Ma 이후부터는 영남육괴 남서부의 비교적 넓은 지역에 걸쳐 화강암질 화성활동이 있었다. 신원 엽리상 화강섬록암(189±3 Ma, Kim and Turek, 1996)과 남원 북동부의 엽리상 화강암(187±3 Ma, Turek and Kim, 1995)이 같은 시기에 관입하였다. 이로부터 약 10 Ma가 지난 뒤에 다시 영남육괴 남서부의 남원 화강암(176±3 Ma, Turek and Kim, 1995)과 거창 남서부의 섬록암(177±6 Ma, Turek and Kim, 1995), 그리고 영남육괴 북동부의 백석리 엽리상 화강섬록암(177.8±2.4 Ma, Kim *et al.*, 2003)등이 정치하였다. 190 Ma 이후의 화성활동은 화강섬록암 내지 화강암 조성의 심성암들을 형성시킨 화성활동이며, 모두 전형적인 섭입대 환경에서의 화성활동인 것으로 판단된다.

옥천대의 암체들

옥천변성대에서의 삼첩기-쥬라기초의 심성암체로 보고된 것은 청산, 백록, 점촌, 괴산암체를 들 수 있다. 괴산지역 조립질 섬록암의 스피인 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 연대는 233.1±2.0 Ma로 보고되었으며(정창식 외, 2004), 점촌화강암의 스피인으로부터는 단계적 용출을 통해 구한 231.9±3.3 Ma의 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 연대가 보고되었다(Sagong *et al.*, 1999). 청산화강암과 백록 화강섬록암에 대하여는 여러 차례의 연대측정보고가 있었으며(Ree *et al.*, 2001; Cho *et al.*, 2001; Kim *et al.*, 2003) 다소 차이가 있는 자료도 있다. 이 중에서 Ree *et al.*(2001)의 스피인 U-Pb 연대자료와 잘 일치하는 Cho *et al.*(2001)의 SHRIMP zircon U-Pb 연령(각각 225.7±3.7 Ma, 225±2.1 Ma)이 가장 신뢰할 수 있는 연대로 판단된다. 이상의 연대자료들은 옥천 변성대의 청산, 백록, 점촌 및 괴산 암체들이 모두 220-230 Ma의 시기에 정치한 것을 나타낸다. 이들의 생성환경은 섭입대와 접해있는 활발한 화성활동을 보이는 지구조환경에서 생성된 것으로 보고되고 있다(사공희와 좌용주, 1997; 최원희와 좌용주, 1998; 신인현 외, 1999). 정창식과 장호완(1996)은 백록화강섬록암은 섭입의 영향을 받아 형성되었고, 청산암체는 충돌 이후의 환경에서 형성되었을 가능성을 논의하였으나 두 암체의 생성연대가 동일한 것으로 판명되었기 때문에 다른 지구조 환경에서 생성되었을 가능성은 없다고 할 수 있다.

225 Ma 부근에 형성된 암체들 형성 이후에 옥천대에 정치한 심성암체는 대강과 함창의 알칼리 화강암이다. 조등룡 외(2003)에 의하면 대강 화강암과 함창 화강암은 같은 암상 및 광물학적 특징을 갖는 A형 고온

화강암이며 저어콘에 대한 SHRIMP $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 가중평균연령이 각각 219.6±1.9와 219.3±3.3 Ma로 같은 관입시기를 갖는다. 김용준 외(1998)는 A형 대강 화강암이 조산운동이 없는 판내부환경에서 만들어졌다고 주장하였다. 점촌화강암과 함창 A형 화강암은 바로 인접하여 산출되기 때문에 옥천대는 앞에서 살펴본 225 Ma의 화강암들이 생성될 당시와는 전혀 다른 지구조환경에 놓이게 되었다고 할 수 있다. 대강과 함창의 화강암들이 생성될 당시에 옥천대의 남동부를 따라 북동에서 남서방향으로 삼첩기의 퇴적분지가 발달되었다. 따라서 조등룡 외(2003)가 제기한 것처럼 대강 화강암과 함창 화강암은 옥천대와 영남육괴의 경계를 따라 형성된 대동층군 퇴적분지 형성과 관련한 열곡 환경에서의 화성활동 산물일 가능성이 높다.

대강과 함창 화강암체 생성 이후의 다음으로 일어났던 옥천대 내부의 화성활동은 순창 엽리상화강암의 관입(183±8 Ma, Turek and Kim, 1995)이다. 순창의 화강암질암은 대륙 연변부에서의 활동적 지구조환경에서 만들어진 것으로 생각된다. 따라서 대륙 내부의 인장력 환경에서 만들어진 대강과 함창의 알칼리 화강암들 관입이후 옥천대 주변의 지구조환경이 압축력이 지배적인 섭입대 주변환경으로 바뀐 것으로 판단된다.

순창 엽리상 화강섬록암의 정치 이후에 옥천대에 나타나는 화성활동은 174~179 Ma의 시기에 걸쳐 충주화강암, 청주화강암, 대전화강암, 보은화강암, 산이화강암, 영광화강암 등 여러 곳에서 암주 내지 저반규모의 화강암질 암체들을 만들게 된다(Kim *et al.*, 2003; 정창식 외, 2003, 2004).

영남육괴와 옥천대의 화성활동 비교

옥천대와 영남육괴의 두 지역을 비교해보면 화성활동의 시작 시기와 화성활동의 특성 등에는 다소 차이가 있으나 후기에는 거의 같은 양상의 변화를 보인다. 우선 대략 250 Ma의 페름기말-삼첩기초의 섭입작용이 영남육괴 북서부에 영덕암체를 생성시켰고, 그 이후 225 Ma에는 옥천대의 청산, 백록, 점촌 암체를 생성시켰다. 영남육괴의 영해암체도 아마 이와 비슷한 시기에 형성된 것으로 볼 수 있다. 이상의 암체들은 모두 활동적인 대륙연변부의 지구조환경을 지시한다. 이와 비슷한 시기에 영남육괴의 남서부에 마천 반려암이 관입하였다. 이 암체는 활동적인 대륙연변부의 환경보다는 인장력이 작용하는 판내부 환경에서 만들어졌다고 해석된다. 이러한 차이는 약간의 시기 차이에 따른 지구조환경의 변화이거나, 아니면 지리적 차이에 의한 지구조환경의 차이일 가능성도 있다. 예를 들어 섭입대

로부터의 거리차로 가까운 부분에서는 압축력, 먼 곳에서는 인장력 환경이 작용하였기 때문일 수 있다.

뒤 이어 옥천대에서는 대강과 함창지역에 A형 화강암이 생성되었다. 이들은 대륙 내부에서 인장력이 작용하는 지구조환경에서 생성된 것으로 판단되며, 이러한 판단은 옥천대의 남동쪽 연변부를 따라 북동-남서 방향으로 대동누층군이 쌓인 분지가 형성되었음으로도 뒷받침된다. 그러나 같은 시기에 영남육괴 내에서는 안의 반상화강암이 생성되었으며, 이 화강암은 압축력이 지배적이고 섭입활동이 일어나는 대륙주변의 활동적 구역에서 생성된 것으로 판단된다. 따라서 이 시기의 영남육괴와 옥천대의 지구조환경은 마친반려암과 청산 화강섬록암이 만들어졌던 시기와는 정 반대의 상황이라고 할 수 있다. 이러한 차이는 섭입방향이 반대로 바뀌어 영남육괴와 옥천대의 지구조적 위치가 정반대가 되면 만들어질 수 있는 결과이나 당시의 지구조환경을 확실하게 규명하기 위해서는 보다 확실한 증거가 필요하다고 생각한다.

그 이후 210~195 Ma의 시기에 영남육괴에서는 산청군 일대의 반려암, 섬록암, 섬장암을 포함하는 화성암 복합체가 만들어졌으며, 이 연구의 대상인 김천, 성주, 안의지역의 화강섬록암들도 생성되었다. 이 시기에 왜이와 같이 다양한 종류의 마그마들이 생성되었는지에 대하여도 추가적인 연구가 필요하다.

이후에 189~183 Ma의 시기에는 순창, 남원 등지의 화성암들이 관입하였으며 이 시기에는 영남육괴와 옥천대 모두 활동적 대륙연변부의 환경이었다고 생각된다. 180 Ma 이후에 나타나는 광범위한 화성활동의 이전에 소위 호남전단대가 활성화되어 이전의 많은 심성암체들이 엽리를 갖게 된 것으로 생각된다. 전단작용은 비교적 오랜 시기에 걸쳐 단속적으로 일어났으며, 지역에 따라 세기가 상당히 변화하였다고 볼 수 있다.

전단운동의 정점 이후에 영남육괴와 옥천대의 보다 넓은 지역에서 화강암들이 생성되었다. 이때는 활동적 대륙연변부 화성활동의 세기가 훨씬 더 강력했었다고 판단된다.

지구조 환경 변화의 해석

앞에서 논의한 바와 같이 영남육괴와 옥천대에서의 화성활동 양상 변화는 시기에 따른 지구조환경의 변화가 양쪽에서 다소 다르게 나타났음을 알 수 있다. 전반적으로는 압축력이 작용하는 활동적 대륙연변부 환경이 우세하게 작용하였으나, 세부적으로 살펴보면 압축력이 작용하는 섭입환경과 인장력이 작용하는 판내부환경이 여러 차례 반복되어 나타났음을 알 수 있다.

특히 영남육괴와 옥천대가 서로 상이한 지구조환경의 변화를 겪은 것은 한반도 지각의 시대별 진화를 밝히는데 중요한 단서가 될 수 있다고 생각한다. 특히 경기육괴에서는 영남육괴나 옥천대와는 달리 선주라기 산성 심성암체들의 출현이 보고되지 않고 있다는 사실 역시 주목할 필요가 있다고 생각한다. 이는 한반도 남동쪽에 위치했던 대륙연변부의 섭입대에서의 화성활동이 경기육괴까지는 영향을 미치지 못한 때문이리고 볼 수도 있다. 또는 지금까지 생각해왔던 것과는 전혀 달리 경기육괴와 옥천대의 사이에서 남동쪽으로 당시의 섭입작용이 일어났을 가능성도 검토해볼 필요가 있다. 이는 경기육괴와 옥천대 및 영남육괴가 서로 다른 지판에 소속되었음을 의미한다. 따라서 한반도의 지각 진화사를 보다 명확히 밝히기 위해서 경기육괴, 영남육괴와 옥천대에 대한 기존의 전통적인 사고방식에서 벗어나 새로운 시각으로 검토할 필요성이 제기된다.

결론

스핀에 대한 U-Pb 연대측정 결과 김천, 성주, 안의 일대에 분포하는 독립적인 화강섬록암질 암체들이 $195.7 \pm 2.4 \sim 200.8 \pm 1.9(2\sigma)$ Ma의 좁은 기간 동안에 생성되었음이 밝혀졌다. 이는 삼첩기와 주라기의 경계 시기에 영남육괴 남서부의 상당 범위에 걸쳐 산성 화성활동이 있었음을 나타낸다.

심성암체들의 종류와 연대로부터 추론한 삼첩기로부터 주라기초에 있었던 영남육괴와 옥천대에서의 화성활동 양상 변화를 보면 시기에 따른 지구조환경의 변화가 양쪽에서 다소 다르게 나타난다. 전반적으로는 압축력이 작용하는 활동적 대륙연변부 환경이 우세하게 작용하였으나, 세부적으로 살펴보면 압축력이 작용하는 섭입환경과 인장력이 작용하는 판내부환경이 여러 차례 반복되어 나타났다.

경기육괴에서는 영남육괴나 옥천대와는 달리 선주라기 산성 심성암체들의 출현이 보고되지 않고 있음은 한반도 남동쪽에 위치했던 대륙연변부의 섭입대에서의 화성활동이 경기육괴까지는 영향을 미치지 못한 때문이거나, 지금까지 생각해왔던 것과는 전혀 달리 당시의 섭입작용이 경기육괴와 옥천대의 사이에서 남동쪽의 방향으로 일어났을 가능성도 검토해볼 필요가 있다. 후자의 경우 경기육괴와 옥천대 및 영남육괴가 서로 다른 지판에 소속되었음을 의미하며, 경기육괴, 영남육괴와 옥천대에 대한 기존의 전통적인 사고방식에서 벗어나 새로운 시각으로 한반도의 지각진화사를 재검토할 필요성을 제기한다.

사 사

이 연구는 부경대학교의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다. 원고를 읽고 많은 도움 말씀을 주신 좌용주 교수와 이종익 박사께 감사드립니다. 또한 자료의 준비에 많은 도움을 준 이태호 학사에게도 사의를 표한다.

참고문헌

- 김규봉, 최위찬, 1994, 한국지질도 (1 : 50,000) 함양도폭 및 설명서. 한국자원연구소, 16 p.
- 김상욱, 이홍규, 1970, 한국지질도 (1 : 50,000) 지레도폭 및 설명서. 국립지질조사소, 19 p.
- 김상욱, 양승영, 이윤종, 1989, 한국지질도 (1 : 50,000) 김천도폭 및 설명서. 한국동력자원연구소, 22 p.
- 김용준, 조동룡, 박영석, 1989, 거창지역에 분포하는 중생대 화성암류에 대한 연령과 주성분 광물의 화학조성. 광산지질, 22, 117-127.
- 김용준, 조동룡, 이창신, 1998, 한반도 남서부 남원 일대에 분포하는 A형 대강 화강암의 암석학, 지화학 및 지구조적 의미. 자원환경지질, 31, 399-413.
- 김정환, 임주환, 1974, 한국지질도 (1 : 50,000) 구미도폭 및 설명서. 국립지질광물연구소, 20 p.
- 사공희, 좌용주, 1997, 청산 일대에 분포하는 화강암류의 광물조성과 주성분원소 지구화학. 암석학회지, 6, 185-209.
- 송용선, 김동연, 박계현, 정창식, 김남훈, 2004, 마천 반려암질 층상관입암. 한국암석학회 · 한국광물학회 공동학술발표회 논문집, 36-38.
- 신인현, 박영석, 박천영, 정연중, Shigeru Izumi, 1999, 청산지역 각섬석-흑운모 화강섬록암의 암석화학 및 Sr-Nd 동위원소 조성. 지구과학회지, 20, 156-165.
- 윤현수, 홍세선, 2003, 김천남부에 분포하는 화강암류의 지구화학. 암석학회지, 12, 16-31.
- 이대성, 유환수, 우영균, 김용준, 1989, 한국지질도 (1 : 50,000) 옥산동도폭 및 설명서. 한국동력자원연구소, 24 p.
- 정창식, 권성택, 1999, 경상분지 북부에 분포하는 선백악기 화강암류의 사마리움-니오디미움 광물연대. 지질학회지, 35, 159-166.
- 정창식, 장호완, 1996, 중부 옥천 변성대의 화성, 변성 및 광화작용과 조구조적 연관성 연구(I): 보은지역 화강암류의 암석학과 동위원소 지구화학. 지질학회지, 32, 91-116.
- 정창식, 정연중, 길영우, 2004, 중부 옥천대의 중생대 화성활동 시기: 청주-대전 지역 화강암질암의 U-Pb 스피넬연대. 한국암석학회 · 한국광물학회 공동학술발표회 논문집, 21.
- 정창식, 정연중, 길영우, 정기영, 2003, 청주화강암의 U-Pb 스피넬 연대. 한국광물학회 · 한국암석학회 공동학술발표회 논문집, 53.
- 정창희, 김상욱, 고인석, 김항목, 1989, 한국지질도 (1 : 50,000) 선산도폭 및 설명서. 한국동력자원연구소, 26 p.
- 조동룡, 최범영, 김용준, 2003, 대강 화강암과 함창 화강암의 SHRIMP U-Pb 저어콘 연대 측정: 220 Ma의 A형 화성활동. 대한지질학회 추계학술발표회 초록집, 101.
- 좌용주, 우리나라 중생대 화강암의 계층적 구분-삼척기 화강암의 예. 한국암석학회 · 한국광물학회 공동학술발표회 논문집, 22-25.
- 최원희, 좌용주, 1998, 점촌일대에 분포하는 화강암류에 대한 암석화학적 연구. 암석학회지, 7, 37-52.
- 황인전, 박정서, 1968, 한국지질도 (1 : 50,000) 안의도폭 및 설명서. 국립지질조사소, 25 p.
- 홍세선, 2001, 각섬석 지압계를 이용한 영남육괴내 화강암의 정치심도와 그 의미. 암석학회지, 10, 36-55.
- 홍승호, 윤옥, 1993, 한국지질도 (1 : 50,000) 장계도폭 및 설명서. 한국자원연구소, 17 p.
- Bates, R.L. and Jackson, J.A., 1987, Glossary of geology (3rd edition). American Geol. Inst., Alexandria, USA.
- 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. Island Arc, 11, 25-44.
- Cho, D.-L., Kwon, S.-T., Sagong, H., Cheong, C.-S., and Armstrong, R., 2001, Precise cooling histories of three neighboring plutons in the central Okcheon belt: Implications for magma movement rate and tectonics. 대한지질학회 제56차 추계공동학술발표회 초록집, 90.
- Kim, B.-C., Choi, S.-J., Suzuki, K., Adachi, M., Obayashi, T. and Yu, K.-M., 1997, Provenance of Cretaceous sandstones in the southeastern Yongdong Basin, Korea: CHIME geochronology of detrital monazites. Geoscience J., 1, 37-49.
- 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., 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. Island Arc, 12, 366-382.
- Mezger, K., Essene, E.J., van der Pluijm, B.A., Halliday, A.N., 1993, U-Pb geochronology of the Grenville orogen of Ontario and New York: Constrains on ancient crustal tectonics. Contrib. Mineral. Petrol., 114, 13-26.
- Mezger, K., Raunsey, C.M., Bohlen, S.R., Hanson, G.N., 1991, U-Pb garnet, sphene, monazite and rutile ages: Implications for the duration of high-grade metamorphism and cooling histories, Adirondack Mountains. New York. J. Geology 99, 415-428.

- 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*, v. 20, 850-867.
- Sagong, H., Kwon, S.-T., and Cheong, C.-S., 1999, U-Pb sphene dating of Mesozoic granitoids by step-leaching: U-Pb isochron age. Abstract and Program for the 54th Annual Meeting of the Geol. Soc. Korea, 31-32 (abstract).
- Scott, D.J. and St-Onge M.R., 1995. Constrains on Pb closure temperature in titanite based on rocks from the Ungava orogen, Canada: Implications for U-Pb geochronology and P-T-t path determinations. *Geology* 23, 1123-1126.
- Turek, A. and Kim, C.-B., 1995, U-Pb zircon ages of Mesozoic plutons in the Damyang-Geochang area, Ryongnam massif, Korea: *Geochem. J.*, 29, 243-258.
- White, A.J.R., Allen, C.M., Beams, S.D., Carr, P.F., Champion, D.C., Chappell, B.W., Wyborn, D., and Wyborn, L.A.I., 2001, Granite suites and supersuites of eastern Australia. *Australian J. Earth Sci.*, 48, 515-530.
- Zhang, L.S. and Scharer, U., 1996. Inherited Pb components in magmatic titanite and their consequence for the interpretation of U-Pb ages. *Earth Planet. Sci. Lett.* 138, 57-65.
-
- (2005년 2월 9일 접수; 2005년 2월 28일 채택)