

영남육괴 함양, 거창 및 영주 화강암-화강섬록암의 스피넬 U-Pb 연대

박계현^{1,*} · 이호선^{1,2} · 송용선¹ · 정창식²

¹부경대학교 환경·해양대학 환경지질학과, ²한국기초과학지원연구원 동위원소환경연구부

Sphene U-Pb ages of the granite-granodiorites from Hamyang, Geochang and Yeongju areas of the Yeongnam Massif

Kye-Hun Park^{1,*}, Ho-Sun Lee^{1,2}, Yong-Sun Song¹ and Chang-Sik Cheong²

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

²Division of Isotope Geoscience, Korea Basic Science Institute, Daejeon 305-333, Korea

요약: 영남육괴 중부와 북동부의 화강암질 암체들에 대하여 스피넬 U-Pb 연대측정을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 함양군의 안의면과 서상면 경계부에서 채취한 반상 화강암은 225.4 ± 4.1 Ma, 함양군 안의면의 엽리상 화강섬록암은 195.6 ± 1.8 Ma, 거창군 신원면의 엽리상 화강섬록암은 194.2 ± 2.4 Ma, 거창군 마리면과 북상면의 화강암은 각각 198.4 ± 2.5 Ma와 194.6 ± 2.6 Ma, 그리고 영주 엽리상 화강섬록암은 171.3 ± 2.3 Ma의 연대를 보인다. 기존 연구 결과들을 종합해서 살펴보면 삼첩기인 ~225 Ma의 동일한 시기에 영남육괴의 함양과 상주, 옥천변성대의 백록, 점촌, 피산 지역에 화강암질암이 정치하였다. 상당한 휴지기를 지난 후 삼첩기-쥬라기 경계로부터 쥬라기초에 걸친 200~194 Ma의 시기에 함양군, 거창군, 김천시, 성주군의 상당히 넓은 지역에 걸쳐 화강암질암이 정치하였다. 영남육괴에서 일어난 이 시기의 화성활동은 옥천대나 경기육괴에서는 보고되지 않고 있으며, 당시의 영남육괴의 독특한 지구조적 환경을 반영하는 것으로 생각된다. 영주화강섬록암이 형성된 ~170 Ma에는 영남육괴, 옥천변성대와 경기육괴 모두에서 활발한 화강암질 화성활동이 일어났다.

핵심어: 영남육괴, 화강암, 스피넬, U-Pb 연대, 거창, 함양, 영주

Abstract: U-Pb ages were determined from the granitic rocks from central and northeastern parts of Yeongnam massif. Porphyritic granite of Seosang-myeon, Hamyang-gun near the boundary with Anui-myeon shows age of 225.4 ± 4.1 Ma. Foliated granodiorites of Anui-myeon, Hamyang-gun and Sinwon-myeon, Geochang-gun are 195.6 ± 1.8 Ma and 194.2 ± 2.4 Ma old respectively. Granites from Mari-myeon and Buksang-myeon of Geochang-gun show almost identical ages of 198.4 ± 2.5 Ma and 194.6 ± 2.6 Ma respectively, while foliated granodiorite of Yeongju shows an age of 171.3 ± 2.3 Ma. Combining with previously reported results, Triassic granitoids were emplaced almost identically at ca. 225 Ma throughout the areas of Hamyang and Sangju of Yeongnam massif and Baengnok, Jeomchon and Goesan of Okcheon metamorphic belt. There were significant gap of non-magmatism before the resume of granitic activities over the large areas of Hamyang-gun, Geochang-gun, Gimcheon-si and Seongju-gun from Triassic-Jurassic boundary to early Jurassic, 200-194 Ma. Igneous activity within the Yeongnam massif of this period has not been reported from the Okcheon belt or Gyeonggi massif and may reflect distinct tectonic environment. Around 170 Ma, when Yeongju granodiorite was emplaced, there were active granitic magmatism throughout the Yeongnam massif, Okcheon belt and also Gyeonggi massif.

Key words: Yeongnam massif, granite, sphene, U-Pb age, Geochang, Hamyang, Yeongju

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

서 언

중생대의 화강암류는 선캄브리아 기의 편마암류와 함께 한반도에서 가장 넓은 면적으로 분포하는 암상이다. 이러한 한반도의 화강암류는 소위 대보화강암으로 알려진 유라기의 연대를 갖는 것이 가장 넓게 분포하며, 백악기말부터 제3기초의 연대분포를 보이는 불국사화강암도 상당한 면적으로 나타나고, 삼척기의 화강암도 보고되고 있다(예, Ree *et al.*, 2001; Cheong *et al.*, 2002; Kim *et al.*, 2003; 박계현 외, 2005; Sagong *et al.*, 2005). 최근의 정밀하고 정확한 분석방법을 통해 구한 연대측정 결과들에 의하면 이전의 상대적으로 부정확하고 정밀하지 못한 연대측정 자료들의 상당부분이 잘못되었음도 밝혀지고 있다.

최근 자료들로 밝혀진 중요한 결과의 하나가 삼척기 혹은 그 이전의 정치연대를 갖는 화강암체들이 다수 있으며, 주로 옥천변성대와 영남육괴에 분포한다는 것이다. 옥천변성대 내의 청산 반상화강암과 백록 화강섬록암은 ~226 Ma(Ree *et al.*, 2001; Cho *et al.*, 2001; Kim *et al.*, 2003), 점촌 화강암이 224.0 ± 5.6 Ma(Sagong *et al.*, 2005), 괴산 섬록암이 233.1 ± 2.0 Ma(정창식 외, 2004)로 모두 삼척기 화강암류로 판명되었다. 역시 옥천변성대 내부에 분포하는 것으로 볼 수 있는 대강과 함창의 알칼리 화강암체들 역시 220-212 Ma의 삼척기 연대를 보이며(Turek and Kim, 1995; 조동룡 외, 2003), 대강 화강암 가까이에 위치하는 동북 변성반암 역시 219 ± 3 Ma의 연대를 갖는 것으로 보고되었다(Kim and Turek, 1996).

경상분지 북부의 화강암질 암체들 역시 오래된 암체로 판명되었다. 정창식과 권성택(1999)은 Sm-Nd 전암-광물 연대측정을 통해 영덕, 영해 및 청송의 암체들이 226 ± 20 - 241 ± 59 Ma의 범위의 연대를 갖는다고 보고하였다. 이들에 대한 스핀 및 저콘 U-Pb 연대는 196.5 ± 7.5 Ma로부터 250 Ma 내외의 시기까지 확장된다(Kim *et al.*, 2003; Sagong *et al.*, 2005). 이러한 연대는 중생대 삼척기와 고생대 페름기의 경계시기로까지 한반도의 화강암질 화성활동이 연장됨을 의미한다. 영남육괴의 중부 및 남서부지역에서는 다양한 화성암류들이 삼척기로부터 유라기초에 걸쳐 정치하였음이 보고되었다. Turek and Kim(1995)과 Kim and Turek(1996)에 의하면 마천 반려암, 안의지역 엽리상 화강암 및 반려암, 산청 섬록암과 반려암 등이 223~203 Ma의 삼척기 시기에 형성되었으며, 산청군의 섬강암, 울현리 엽리상 화강암, 거창군 신원리의 엽리상화강암, 남원 북동부의 엽리상화강암 등이 197~187 Ma의 유라기초에 정치하

였다. 최근의 김천, 안의, 성주 지역 화강섬록암들에 대한 202~197 Ma의 U-Pb 스핀 연대(박계현 외, 2005)와 선산-상주지역 화강암질 암석들이 보이는 225~180 Ma의 U-Pb 저콘 및 스핀 연대(이호선 외, 2005) 역시 영남육괴 중부지역의 넓은 지역에 걸쳐 삼척기로부터 유라기초에 이르기까지 활발한 화성활동이 있었음을 나타낸다.

옥천대 화강암의 생성시기는 삼척기와 유라기중기(~170 Ma)로 경기육괴 화강암들의 생성시기와 같은 양상을 보이고 있는 것에 비하여 영남육괴에 분포하는 화강암들의 생성시기는 유라기초에 해당하는 것이 많다는 점에서 다른 두 지괴와는 특징적인 차이가 있음을 알 수 있으며 이들의 지구조환경 변화사가 같지 않았음을 시사한다. 한반도의 지구조환경 진화사를 상세하게 밝히기 위해서는 각 육괴를 구성하는 암체들의 연대분포를 보다 정확하게 파악하는 것이 매우 중요하다고 생각하였다.

이를 위해 이 연구에서는 비교적 높은 폐쇄온도를 갖기 때문에 해당 암체들이 정치한 시기를 나타내는 것으로 해석할 수 있는 U-Pb 스핀 연대측정법(Mezger *et al.*, 1991, 1993; Scott and St-Onge, 1995; Zhang and Scherer, 1996)을 적용하여 영남육괴에 산출되는 화강암질 암체들에 대한 추가적인 연대측정 결과를 보고한다. 또한 관련된 기존 연대자료들과 비교하여 구해진 연대의 의미에 대하여 간략히 논의한다.

연대측정 대상암체의 선정

영남육괴의 화강암류들 중에는 아직 연대가 확실하게 규명되지 못한 암체들이 여럿 있다. 여기에는 아직 연대 측정이 이루어지지 못한 암체인 경우와, 보고된 연대측정 결과의 확인이 필요한 곳 모두가 포함된다. 이 연구에서 스핀 U-Pb 연대측정을 위해 선정한 영남육괴에 분포하는 화강암류들과 선정 이유는 다음과 같다.

Turek and Kim(1995)은 함양군 서하면, 안의면과 거창군 신원면 지역의 다양한 심성암체들에 대한 U-Pb 저콘 연대측정결과를 보고하였다. 이들에 의하면 이 지역의 중생대 심성암체들은 177 ± 6 - 219 ± 3 Ma 범위의 상당히 넓은 연대변화를 보인다. 특히 화강암과 반려암이 가장 오래된 동일한 연대를 보이고(~219 Ma), 섬록암은 상대적으로 젊은 연대를 나타낸다(~177 Ma). 한편 박계현 외(2005)는 안의면 남서쪽의 화강섬록암으로부터 199.1 ± 2.4 Ma의 연대를 보고하였다. 따라서 이러한 연대의 차이가 넓은 조성범위를 보이며 분포하는 이 지역의 심성암들과 어떤 관계를 갖고 있는지를 살

퍼블 필요가 있다. 즉, 이들이 전혀 다른 시기의 활동을 대표하는 것인지 아니면 변화의 일부는 동일한 시기를 갖는 심성암들의 분화에 의한 산물인지를 알아 볼 필요가 있다고 생각하였다. 또한 남쪽으로 인접한 산청군 차황면-신동면의 섬장암-섬록암-반려암 복합체와도 중첩되는 시기의 화성활동이기 때문에 지역간 화성활동의 특성과 지구조환경의 차이 등을 비교하기 위해서도 정밀한 연대자료가 많이 추가되어야 한다고 판단하였다. 이를 위해 추가로 실시한 연대측정을 수행한 대상암체는 다음과 같다.

함양 반상화강암

Turek and Kim(1995)은 함양군 안의지역에 분포하는 엽리상 화강암으로부터 219 ± 3 Ma의 U-Pb 저콘 연대가 측정되었다고 보고하였다. 이러한 연대는 영남육괴 중부지역의 화강암류에 대한 신뢰도 높은 연대자료 중에서는 가장 오래된 연대이기 때문에 독립적인 연대측정에 의해 확인할 가치가 있다고 판단하였다.

안의 엽리상 화강섬록암

Turek and Kim(1995)은 함양군 안의면소재지 인근의 섬록암이 177 ± 6 Ma의 U-Pb 저콘 연대를 갖는 것으로 보고하였다. 이들이 보고한 저콘 자료들은 상당히 분산된 결과를 보이며 바깥 부분을 깎아낸 저콘들 역시 일치곡선(concordia)으로부터 상당히 떨어져 있다. 보고한 연대는 9개의 자료 중에서 2자료만을 이용한 자료이기 때문에 독립적인 연대측정으로 확인할 필요성이 있다. 또한 이 연대는 함양군, 거창군, 산청군 등 주변 지역의 심성암에 대한 연대를 종합할 때 가장 젊은 연대라고 할 수 있다. 한편 박계현 외(2005)는 안의도폭에서 동일한 암체로 표시되어 있으며 Turek and Kim(1995)의 표포 위치로부터 서쪽으로 불과 몇 km 떨어지지 않은 지점의 화강섬록암에 대하여 199.1 ± 2.4 Ma의 ^{238}U - ^{206}Pb 스피인 연령을 보고하였다. 따라서 이 지역에 분포하는 비슷한 암상의 심성암체들이 동일한 연령을 갖는지 확인할 필요가 있다고 생각하였다.

신원 엽리상 화강섬록암

Kim and Turek(1996)은 거창군 신원면에 분포하는 여러 개의 엽리상 화강섬록암 암주들 중 한 암체로부터 189 ± 3 Ma의 저콘 U-Pb 연령을 구하였다. 이러한 연대는 동일 논문에서 보고한 남쪽의 울현리 엽리상 화강암(195 ± 2 Ma) 및 차황산 섬장암(197 ± 1 Ma), 산청 섬록암(210 ± 2 Ma)과 Kim *et al.*(2003)이 보고한 산청 반려암(203.8 ± 2.9 Ma)의 연대보다 상대적으로 젊

은 연대이며, Turek and Kim(1995)이 안의면의 섬록암으로부터 구한 177 ± 6 Ma의 저콘 U-Pb 연령보다는 훨씬 오래된 연대이다. 또한 이 연대는 신원 엽리상 화강섬록암과 비슷한 암상을 보이는 함양군 안의면의 엽리상 화강섬록암으로부터 박계현 외(2005)가 보고한 U-Pb 스피인 연대인 199.1 ± 2.4 Ma와 비교할 때도 다소 젊다. 따라서 이 지역의 심성암체들이 실제로 상당한 연대범위에 걸쳐 관입하였는지, 특히 비슷한 암상을 보이는 엽리상 화강섬록암들의 활동시기가 여러 차례였는지를 확인할 필요가 있다고 판단하였다.

거창 화강암

거창군에는 화강암을 석재로 활용하기 위한 채석장이 많을 정도로 화강암질 암석들이 넓은 지역에 걸쳐 분포한다(김남광과 김정환, 1970). 앞에서 언급한 지역들에서는 화강섬록암질 암상이 우세한 것과는 달리 전형적인 화강암에 가까운 조성을 보이는 것이 대부분이다. 거창 지역의 화강암류에 대해서 박영석 외(1993)는 276 ± 33 Ma의 Rb-Sr 연대를 보고하였다. 그러나 보다 확실하게 거창화강암의 연령을 밝히기 위해서는 추가적인 연대측정을 수행할 필요가 있다고 판단하였다.

영주 화강섬록암

영남육괴 북동부의 영주지역에는 화강암 복합체가 자리잡고 있다(예, 황상구 외, 1999, 2000). 소위 영주 화강암은 1/1,000,000 한반도 지질도를 보더라도 가장 두드러진 화강암체로 볼 수 있다. 그러나 이 암체에 대하여 현재까지 보고된 연대자료들은 서로 잘 일치하지 않으며, 아직까지는 정치시기를 확실하게 말하기가 곤란하다고 할 수 있다. 연대측정 결과들을 살펴보면 정치시기를 잘 대변할 것으로 생각되는 Rb-Sr 전암 연대가 고생대말인 267 ± 27 Ma(Lee *et al.*, 1999)와 삼첩기인 220 ± 20 Ma(진명식과 장보안, 1999)로 보고된 것이 있다. 또한 비교적 폐쇄온도가 높아 아주 느린 냉각이 아니라면 정치시기와 큰 차이는 없을 것으로 생각되는 각섬석 K-Ar 연령이 쥬라기인 185.4 ± 3.5 Ma로 보고되었다(진명식과 장보안, 1999). 그리고 황상구 외(1999)는 영주저반을 여러 개의 심성암체로 구분하여 각각으로부터 K-Ar 연대를 구한결과 145.4 ± 2.7 Ma~ 171.7 ± 3.2 Ma의 쥬라기 연대가 산출되었다고 보고하였다. 최근 Sagong *et al.*(2005)는 $169.4 \pm 3.2(1\sigma)$ Ma의 ^{206}Pb - ^{238}U 스피인연대를 보고하였다. 이러한 결과들 중에서는 지표 가까운 환경에서의 풍화변질에 의한 영향이나 폐쇄온도와 같은 연대측정 방법별 특성을 감안할 때 Sagong *et al.*(2005)의 연대가 가장 신뢰도가 높다고 판

안의 엽리상 화강섬록암

연대측정 대상으로 선정된 표품은 안의면사무소에서 남동쪽으로 약 3.5km 지점에 위치한 황곡리 노두(Fig. 1의 SGG-14, 북위 35° 36' 15" 동경 127° 50' 30")에서 채취하였으며, Turek and Kim(1995)이 177 ± 6 Ma의 U-Pb 저콘 연대를 측정된 KH-5 표품위치로부터 남남동쪽으로 약 2.5 km 떨어진 지점이다. 이 노두의 암석은 조립질이며 각섬석 및 흑운모가 두드러진 엽리의 발달을 보인다. 또한 우흑질의 광물들로 구성된 다수의 내포물들이 수 cm의 폭과 수십 cm의 길이를 보이며 엽리방향으로 배열해있다. 노두상에서 곳에 따라 유색광물의 함량변화가 심하여 각섬석과 흑운모가 많아 상당히 짙게 보이는 부분과 비교적 밝은 색을 갖는 부분이 수 미터의 폭으로 넓게 교호한다. 암상은 화강암질에서 화강섬록암 내지는 토날라이트에 이르는 변화를 보이는 것으로 관찰되었다.

신원 엽리상 화강섬록암

표품을 채취한 지점은 산청군 차황면과 거창군 신원면을 지나는 59번 도로상의 노두(Fig. 1의 SGG-5, 북위 35° 34' 6" 동경 127° 53' 52")로 신원면소재지에서 서쪽으로 약 2.5 km 떨어진 곳이며, Kim and Turek(1996)이 189 ± 3 Ma의 저콘 U-Pb 연령을 구한 표품 채취지점으로부터 북쪽으로 약 2.5 km에 위치한다. 이 지점의 노두는 조립질의 엽리상 화강섬록암질 암상을 보인다.

거창 화강암

연대측정을 위하여 거창군 마리면사무소 북방 약 1km지점의 37번국도변 노두(Fig. 1의 GCG-2, 북위 35° 43' 55" 동경 127° 50' 48")와 북상면 창선리의 위천천 옆을 따라가는 도로변 노두(Fig. 1의 GCG-3, 북위 35° 46' 15" 동경 127° 48' 36")에서 각각 1개씩의 표품을 채취하였다. 이 표품들은 비교적 유색광물의 양이 적은 조립질의 괴상 화강암질 암석이다. 마리면의 표품에서는 백운모도 함께 관찰된다.

영주 화강섬록암

연대측정을 위해 안동-영주간 5번국도에서 갈라지는 915번 지방도변(옛고개 주유소부근, Fig. 1의 YG-5, 북위 36° 44' 21" 동경 128° 43' 28")에서 표품을 채취하였다. 이 표품은 조립질이고 부분적으로 엽리가 발달하고 있으며 각섬석의 양이 비교적 많은 화강섬록암질 암석이다.

U-Pb 분석법

연대측정을 위한 스핀 및 장석의 분리와 U-Pb 분석은 박계현 외(2005)와 동일한 방법을 사용하였다. 파쇄 후 실체현미경을 통해 분리한 스핀과 장석들에 대한 U-Pb 동위원소 분석은 한국기초과학연구원연구소에서 수행하였다. 혼합산(HF : HClO₄ = 10 : 1)을 이용한 용해 후 스핀 용해 용액을 일부(1/10~1/5 정도) 덜어내어 동위원소희석법을 통한 정량분석을 위해 U-Pb 혼합 스파이크(²³⁵U = 99.987 atom%, ²⁰⁸Pb = 99.874 atom%)를 더하여 섞었다. 동위원소 비율을 측정하는 부분과 정량분석을 위한 부분 모두 HBr 매질과 AG1-X8 수지를 사용하는 음이온교환칼럼화학에 의해 U와 Pb를 분리하였다. 실험 전체 과정의 U, Pb 바탕값은 대략 20 pg, 400 pg 수준이었다. 동위원소 분석은 VG54-30 모델의 열이온화질량분석기를 이용하였으며, U, Pb 동위원소 비율 정적 모드(static mode)로 분석하였고, 질량분별효과는 U-500, NIST-981 표준물질의 분석치로 보정하였다. 스핀에 대한 U-Pb 연대측정 결과는 Table 1, 2와 같으며 계산된 연대값에 대한 오차는 95% 신뢰수준(2σ)의 값이다. 계산된 ²³⁸U-²⁰⁶Pb 연령과 ²³⁵U-²⁰⁷Pb 연령은 오차범위를 감안할 때 모두 조화적이라고 할 수 있다. 이 논문에서는 오차가 작은 ²³⁸U-²⁰⁶Pb 연령으로 논의한다.

결과 및 토의

함양 반상화강암

함양 반상화강암에 대한 스핀 ²³⁸U-²⁰⁶Pb 연대는 225.4 ± 4.1 Ma로 삼첩기에 속하는 비교적 오래된 연대가 구해졌다. 이 연대는 가까운 지점의 암석에 대한 Turek and Kim(1995)의 화강암질 암석 및 반려암에 대한 저콘 U-Pb 연대측정 결과(219.2 ± 2.9 Ma)와 거의 일치한다. 따라서 이 지역의 반상화강암들이 주변의 다른 화강암질 암체들에 비해 훨씬 이른 시기에 정치하였음은 분명함을 확인하였다. 연구된 표품의 채취지점으로부터 북동-남서방향으로 유사한 암상의 화강암질 암석들이 넓게 분포한다. 1 : 50,000 지질도 안의도폭(황인진과 박정서, 1968)에서 거정편상화강암으로 명명되어 있으며, 서쪽의 함양도폭(김규봉과 최위찬, 1994)에서는 엽리상반상화강암, 엽리상조립질화강암, 중립질화강암 등 여러 암상으로 세분하였으며, 북서쪽의 장계도폭(홍승호와 윤욱, 1993)에서는 대부분 엽리상반상화강암으로 기재하였다. 북동쪽 연장부인 거창도폭(김남장과 김정환, 1970)에서는 흑운모화강암으로 기재되어 있다.

Table 1. U-Pb sphene ages determined from the granites and granodiorites from Hamyang, Geochang and Yeongju areas of the Yeongnam Massif.

Sample	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (2 σ)	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (2 σ)	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (2 σ)	U (ppm)	Pb (ppm)	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$ Age (2 σ , Ma)	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$ Age (2 σ , Ma)
Hamyang Prophyritic Granite							
HY-104-2 Feldspar	17.674 \pm 0.010	15.564 \pm 0.009	38.245 \pm 0.021				
HY-104-2 Sphene	69.21 \pm 0.59	18.05 \pm 0.15	65.81 \pm 0.566	9.69	6.402	225.4 \pm 4.1	215.7 \pm 15.2
Anui Granodiorite							
SGG-14 Feldspar	18.016 \pm 0.017	15.539 \pm 0.015	38.251 \pm 0.037				
SGG-14 Sphene	132.13 \pm 0.43	21.236 \pm 0.070	164.35 \pm 0.54	132.54	9.853	195.6 \pm 1.8	195.3 \pm 3.2
Sinwon Granodiorite							
SGG-5 Feldspar	17.880 \pm 0.011	15.578 \pm 0.010	38.669 \pm 0.024				
SGG-5 Sphene	82.19 \pm 0.49	18.72 \pm 0.11	103.40 \pm 0.62	110.6	9.330	194.2 \pm 2.4	190.3 \pm 7.7
Geochang Granite							
GCG-2 Feldspar	17.752 \pm 0.012	15.569 \pm 0.011	38.470 \pm 0.026				
GCG-2 Sphene	44.52 \pm 0.13	16.913 \pm 0.048	100.21 \pm 0.29	32.25	5.191	194.6 \pm 2.6	195.3 \pm 8.3
GCG-3 Feldspar	17.709 \pm 0.011	15.564 \pm 0.010	38.533 \pm 0.026				
GCG-3 Sphene	35.095 \pm 0.034	16.432 \pm 0.016	75.668 \pm 0.074	122.43	24.40	198.4 \pm 2.5	198.1 \pm 5.4
Yeongju Granodiorite							
YG-5 Feldspar	18.326 \pm 0.021	15.711 \pm 0.018	38.972 \pm 0.043				
YG-5 Sphene	67.69 \pm 0.24	18.076 \pm 0.064	48.14 \pm 0.17	216.3	13.74	171.3 \pm 2.3	166.3 \pm 5.5

비록 이들이 도폭마다 다른 명칭으로 기재되어 있기는 하지만 반상조적을 갖는 화강암질 암석으로 부분적인 엽리를 보이는 공통적 특징을 갖는 하나의 암체일 가능성이 높다고 생각한다. 한편 거창도폭(김남장과 김정환, 1970)에서 북동쪽 연장방향으로 분포하는 선캠브리아로 구분된 반상변정 편마암으로 명명된 암석의 분포지 중에서 거창군 북상면 일부지역에 대한 조사결과 대부분 괴상의 반상조적을 보이는 화강암질암석들로 구성되어 있음이 발견되었다. 따라서 이 부분역시 ~225 Ma 부근에 형성된 삼척기 암체일 가능성이 있으므로 이들에 대한 추가적인 조사와 생성시기의 규명이 필요하다.

거창 화강암

거창군 마리면과 북상면 화강암의 두 화강암 표품에 대한 ^{238}U - ^{206}Pb 스피넬 연대는 198.4 \pm 2.5 Ma와 194.6 \pm 2.6 Ma로 구해졌다. 이러한 연대는 김천, 안의 및 성주 지역에 대한 박계현 외(2005)의 스피넬 연대와 거의 일치하는 연대이다. 따라서 삼척기에서 유라기로 넘어가는 경계 부근에서 화강암질 화성활동이 영남육괴 중부 지역의 광범위한 지역에서 활발하게 일어났음을 알 수 있다.

김용준(1986)는 거창-함양지역에 분포하는 각섬석-흑운모 편마암, 흑운모 편마암 및 화강편마암으로부터 171~191 Ma의 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대를 보고하였다. 그러나 이

들은 실제로는 엽리가 발달한 화강암일 가능성이 높다고 판단된다. 김용준(1986)가 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대측정을 위해 사용한 백운모, 흑운모, 각섬석 중에서 가장 폐쇄온도가 높은 각섬석으로부터 191 Ma의 연대는 이 연구의 결과와 잘 일치한다. 김용준(1986)는 동일 논문에서 엽리상화강암들로부터 구한 172~196 Ma의 연대도 보고하고 있다. 진단운동으로 형성된 압쇄조적을 잘 발달시키고 있는 운봉-아영지역의 엽리상화강암들에 대해서는 김용준 외(1987)에 의해 추가적인 기재적 연구가 보고되어있다. 이 연대들은 편마암으로 구분한 것들의 연대와 중첩될 뿐만 아니라 이 연구와 박계현 외(2005)가 구한 이 지역의 일반적인 심성암연대와도 잘 부합한다.

김용준 외(1989)가 거창지역에서 각섬석 섬록암, 각섬석 화강암 및 각섬석-흑운모 화강섬록암으로부터 178 \pm 9~181 \pm 9 Ma와 각섬석 반려암으로부터 204 \pm 10 Ma의 K-Ar 각섬석 연대를 보고하였다. 이 중 204 \pm 10 Ma의 암석은 회장암을 관입한 맥상의 각섬석 반려암이며, 다른 암석들은 이 연구에 포함된 거창화강암체의 주변에 분포하는 소규모 암체들이다. 이 암체들과 거창화강암체 사이의 정확한 선후관계는 비교적 큰 오차를 갖는 K-Ar 연대측정결과를 감안할 때 추가적인 야외조사와 연대측정을 통해 확인할 필요가 있다. 한편 박영석 외(1993)이 보고한 276 \pm 33 Ma의 Rb-Sr 연대는 동시선을 형성하지 않는 전암들과 두 암석에서

분리한 백운모 및 흑운모 각 1개씩을 조합하여 계산한 결과이며, 이 연구의 결과와는 매우 큰 차이를 나타낸다. 박영석 외(1993)의 분석에 어떤 오류가 있었는지는 확실하게 알 수 없으나 김천-거창-함양의 넓은 지역에서 다양한 암상으로 산출되는 암체들이 동일한 연대를 갖는 것으로 나타난 이 연구의 결과가 보다 신뢰도가 높은 것으로 판단한다.

안의와 신원 엽리상 화강섬록암

안의면과 신원면의 암주상으로 분포하는 엽리상화강암들은 거의 동일한 암상을 보여주며, 우후질의 포유물들이 많은 것도 유사하다. ^{238}U - ^{206}Pb 스피인 연대는 안의면의 엽리상 화강섬록암 연대가 $195.6 \pm 1.8 \text{ Ma}$, 신원면의 것은 $194.2 \pm 2.4 \text{ Ma}$ 로 오차 범위 내에서 동일한 결과를 보인다.

이러한 연대는 Kim and Turek(1996)이 신원면의 화강섬록암으로부터 구한 U-Pb 저콘 결과($188.9 \pm 3.1 \text{ Ma}$) 보다 약간 오래된 결과를 나타낸다. Sagong *et al.* (2005)가 분석한 함양 엽리상화강섬록암은 1:50,000 지질도에서 거창도폭과 안의도폭에 걸쳐있는 암체로 이 연구의 안의면 표품을 채취한 암체와는 북동-남서 방향으로 대상분포하는 호상편마암 및 미그마타이트질 편마암대에 의해 나뉘어져 있으나 동일한 암상으로 분류되어 있다. Sagong *et al.*(2005)가 이 암석에 대해서 보고한 $188.3 \pm 6.6 \text{ Ma}$ 의 ^{238}U - ^{206}Pb 스피인 연대는 오차범위를 감안하면 이 연구와 같은 연령이라 할 수 있다. 이 연구의 표품과 가장 가까운 곳이며 안의도폭에서는 동일한 암상지역으로 되어있는 지점의 표품인 Turek and Kim(1995)의 섬록암에 대한 U-Pb 저콘연대는 상당한 차이를 보이는 $176.7 \pm 6.2 \text{ Ma}$ 로 보고되었다. 그러나 Turek and Kim(1995)의 섬록암 연대는 불일치(discordant) 연대를 보이는 9개의 자료 중에서 2개 자료만을 연결하여 구한 연대이기 때문에 정확한 값을 나타낸다고 보기에는 곤란한 점이 있다.

한편 박계현 외(2005)는 1:50,000 지질도 안의도폭에서 이 연구의 안의면 표품과 동일암체로 표시된 지역에서 이보다 오차범위를 벗어나는 다소 오래된 $199.1 \pm 2.4 \text{ Ma}$ 의 U-Pb 스피인 연대를 보고하였다. 박계현 외(2005)가 분석한 암석의 채취지점은 안의면과 지곡면 경계부의 24번 도로변 노두로 이 연구의 안의면 표품 위치로부터는 서쪽으로 약 4 km 지점에 위치한 곳이다. 이러한 차이는 이 암체가 모두 동일한 시기에 생성된 것은 아니고 연대를 달리하여 관입한 소규모의 암주상 관입체들이 중첩되어 있을 가능성을 시사한다. 그러나 확실한 관계를 설정하기 위해서는 추가적인 야

외조사와 연대측정이 수행되어야 할 것이다.

영주 화강섬록암

영주 화강섬록암의 경우는 Sagong *et al.*(2005)가 보고한 $169.4 \pm 3.2(2\sigma) \text{ Ma}$ 의 ^{238}U - ^{206}Pb 스피인연대와 오차 범위 내에서 일치하는 $171.3 \pm 2.3 \text{ Ma}$ 의 ^{238}U - ^{206}Pb 스피인 연대가 구해졌다. 따라서 ~170 Ma의 연대가 영주화강섬록암의 정치연대를 대표하며, 고생대말 내지 삼첩기의 Rb-Sr 연대(Lee *et al.*, 1999; 진명식과 장보안, 1999)는 잘못된 연대로 판단된다. 영주 암체에 대한 Rb-Sr 연대가 큰 차이를 보이는 오래된 연령으로 보고된 것은 지각물질과의 동화과정에서 일어난 혼화의 과정으로 초기치가 균일하지 못하여 제대로 된 동시선이 형성되지 않았기 때문일 수 있다. 그러나 Rb-Sr 농도 분석의 체계적 오류에 기인할 가능성도 배제할 수 없다.

영주화강암은 분석된 다른 암체들보다 훨씬 뒤인 중기 쥬라기에 형성되었다. 영주화강암의 생성시기는 경기육괴의 여러 화강암들과 비슷한 연대(예, Kwon *et al.*, 1999)이지만 영남육괴에서는 오히려 예외적으로 젊은 연대라고 볼 수 있을 정도로 드문 생성시기이다. 이 지역에만 상당한 규모의 저반이 만들어졌는지 연구해야 할 과제이다. 인접한 안동화강암의 정치시기인 $185.0 \pm 3.4(2\sigma) \text{ Ma}$ (Sagong *et al.*, 2005)와 비교시에도 상당한 차이를 보인다. 영주화강암이 잘 발달한 엽리를 보이고 있는 것은 영주화강암이 생성된 이후, 즉 쥬라기 중반까지도 영남육괴 북동부에 전단운동이 지속되었을 가능성을 시사한다.

정치시기 종합 및 지구조적 의미에 대한 논의

이 연구에서 구한 함양 반상화강암의 ^{238}U - ^{206}Pb 스피인 연대($225.4 \pm 5.7 \text{ Ma}$)는 이호선 외(2005)가 상주-선산 지역으로부터 보고한 섬록암의 저어콘 U-Pb 일치연령($225.5 \pm 3 \text{ Ma}$) 및 화강암의 ^{238}U - ^{206}Pb 스피인 연령($225.9 \pm 4.4 \text{ Ma}$)과 동일하다. 함양지역의 화강암들은 칼크알칼리 계열에 속하며 대륙연변부에서의 섭입대와 관련된 화성활동에 의해 생성된 것으로 알려져 있다(예, 김용준 외, 1991). 즉, 영남육괴의 함양에서 상주에 이르는 지역이 삼첩기에 대륙연변부에서의 섭입대 영향권에 놓여있었음을 알려준다. 한편 인접한 옥천대에서는 백록화강암, 청산화강암, 점촌화강암 및 괴산 화강섬록암들이 거의 동일한 시기의 화성활동을 보여준다(Rec *et al.*, 2001; Cho *et al.*, 2001; Kim *et al.*, 2003; 정창식 외, 2004; Sagong *et al.*, 2005). 특히 백록화강암과 청산화강암의 SHRIMP U-Pb 저콘연대인 $225.1 \pm 2.1 \text{ Ma}$ 와 $225.7 \pm 3.7 \text{ Ma}$ (Cho *et al.*, 2001), 점

촌화강암의 ^{238}U - ^{206}Pb 스핀 연대($224.0 \pm 5.6 \text{ Ma}$, Sagong *et al.*, 2005)는 함양 반상화강암의 연대와 정확하게 일치한다.

남한지역에서 발견된 삼첩기 화강암들의 지리적인 분포를 보면 동해안에 접하여 경기육괴의 양양지역과 경상분지의 영덕-영해지역에서 발견되며, 서해안에 가까운 경기육괴의 남양지역에서도 나타난다. 이상의 세 곳을 제외하고는 모두 옥천대의 내부와 영남육괴의 중부지역에 삼첩기의 화강암류들이 매우 가까운 지역에 몰려서 분포한다. 후자의 지리적 인접성은 이 암체들의 생성시점에서의 영남육괴와 옥천대 관계를 연구하는데 단서를 제공해 줄 수도 있다. 우선적으로는 앞에서 언급한 화강암들의 생성시기에 영남육괴와 옥천대가 이미 하나의 지괴로 통합되었을 경우이다. 이 경우 동일한 지구조환경에서 만들어진 화강암체들이 두 지괴단위 모두에 정치되었다고 가정해 볼 수 있다. 다른 가능성으로는 서로 떨어져있던 옥천대와 영남육괴의 두 지괴 단위에 동일한 시기에 화강암질 화성활동이 있었으며, 이러한 지괴단위들이 이후의 지구조적 움직임을 통해 하나로 합쳐지게 된 경우이다. 현재까지의 연구로는 이 두 가지 가능성 중 확실하게 어떤 가설이 맞는지 검증하기는 곤란하다고 생각한다.

함양반상화강암의 관입시기 바로 뒤에 대강과 함창의 A-형 알칼리화강암이 형성되었음(조등룡 외, 2003)에 주목할 필요가 있다. 영남육괴의 북서쪽 연변부와 옥천변성대 내에서 활동적 판경계부근에서 일어나는 화강암질 화성활동이 일어난 직후에 옥천변성대의 남동쪽 경계를 따라 주로 판내부환경에서 발생하는 A-형 화성활동(김용준 외, 1998)이 일어났음을 의미한다. 즉, 비록 짧은 시간적 간격을 두고 있지만 지구조적 환경이 상당히 변화하였음을 강력히 시사한다.

앞에서 언급한대로 현재까지의 자료만으로는 영남육괴와 옥천변성대 두 지괴의 통합이 청산, 백록, 점촌 및 상주의 화강암질 암체를 생성 이전인지 아니면 이후인지 확실하지 않다. 그러나 옥천변성대와 영남육괴의 경계부 주위에서 나타나는 A-형 화성활동의 시기에는 이미 두 지괴가 통합되었으며, 이러한 통합대가 주변 지구조적 환경의 변화로 다시 갈라지면서 나타난 현상으로 해석할 수 있다. 즉, 영남육괴와 옥천변성대는 늦어도 대강과 함창의 A-형 화성활동 이전에 통합되었던 것으로 생각된다.

이 연구에서 정치연대를 보고한 안의와 서상의 화강섬록암들과 거창화강암은 박계현 외(2005)가 연대를 보고한 안의, 김천, 성주의 화강섬록암체들은 대부분 194~201 Ma의 비교적 좁은 범위의 정치연대를 갖고 있

다. 즉, 영남육괴의 중부지역에는 주라기 초기에 화강섬록암으로부터 화강암으로의 분화를 보이는 암체들이 비교적 큰 규모로 관입하였음을 알 수 있다. 삼첩기-주라기 경계시기에 시작되는 화성활동은 현재까지는 주로 영남육괴 내에서만 보고되고 있다. 이는 ~225 Ma의 화성활동이 영남육괴, 경기육괴와 옥천변성대 모두에서 관찰되는 것과는 대조적이다. 또한 옥천변성대와 영남육괴를 모두 합해도 대강과 함창의 A-형 화성활동 이후 상당한 휴지기를 거친 다음에 화성활동이 재개되었음을 시사한다. 이러한 변화는 당시 한반도의 지구조적 환경을 제한할 수 있는 중요한 단서가 될 수도 있다. 영남육괴에만 화강암질 화성활동을 일으킨 주라기초의 섭입작용은, 어쩌면 영남육괴, 경기육괴와 옥천변성대 모두에 화강암체를 형성시킨 삼첩기의 섭입작용과는 다른 위치와 방향을 갖고 있었을 가능성도 있다.

한편 영주의 화강섬록암이 형성된 ~170 Ma의 전후에는 영남육괴의 일부지역과 옥천변성대 뿐만 아니라 경기육괴에도 활발한 화강암질 화성활동이 나타난다(예, Kwon *et al.*, 1999; Lee *et al.*, 2001; Sagong *et al.*, 2005). 따라서 이 시기에는 섭입작용이 좁은 해양지각의 저각 섭입이나 해령의 섭입과 같이 보다 넓은 범위의 지역에 동시다발적인 화성활동을 일으킬 수 있는 양상으로 변화하였음을 알 수 있다.

결론

영남육괴 중부와 북동부의 화강암질 암체들에 대한 ^{238}U - ^{206}Pb 스핀 연대측정을 통해 다음과 같은 결과를 얻었다. 함양군의 안의면과 서상면 경계부에서 채취한 반상 화강암은 $225.4 \pm 5.7 \text{ Ma}$, 함양군 안의면의 엽리상 화강섬록암은 $195.6 \pm 1.8 \text{ Ma}$, 거창군 신원면의 엽리상 화강섬록암은 $194.2 \pm 2.4 \text{ Ma}$, 거창군 마리면과 북상면의 화강암은 각각 $198.4 \pm 2.5 \text{ Ma}$ 와 $194.6 \pm 2.6 \text{ Ma}$, 그리고 영주 엽리상 화강섬록암은 $171.3 \pm 2.3 \text{ Ma}$ 의 연대를 갖는다.

함양 반상화강암은 동일한 영남육괴의 상주-선산 지역 화강암질 암체 및 옥천변성대의 백록, 청산, 점촌 및 괴산 화강암질 암체들과 거의 동일한 시기의 화성활동을 보여준다. 영남육괴와 옥천변성대의 화성활동은 대강과 함창의 A-형 알칼리화강암 생성을 끝으로 상당한 휴지기를 겪은 후 삼첩기와 주라기의 경계무렵에 재개되었으며, 이 시기의 화강암질 화성활동은 영남육괴 내부에 국한된 것으로 나타난다. 이러한 변화는 영남육괴와 옥천변성대 모두에 화강암체를 형성시킨 삼첩기의 섭입작용과 영남육괴에만 화강암질 화성

활동을 일으킨 쥘라기초의 섭입작용이 이전과는 다른 섭입대의 위치와 방향을 갖고 있었을 가능성을 시사한다.

~170 Ma의 전후에는 섭입작용이 좁은 해양지각의 저각 섭입이나 해령의 섭입과 같이 보다 넓은 범위의 지역에 동시다발적인 화성활동을 일으킬 수 있는 양상으로 변화하여 영남육괴와 옥천변성대 뿐만아니라 경기육괴에도 활발한 화강암질 화성활동이 나타나게 되었다.

사 사

이 연구는 한국학술진흥재단의 순수기초연구그룹 지원사업(KRF-2003-070-C00046)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드린다. 원고를 준비하는 과정에서 수고해준 부경대학교 환경지질과학과 대학원생들과 작성된 원고를 읽고 건설적 비평을 해주신 여러분들께도 감사드린다.

참고문헌

김규봉, 최위찬, 1994, 한국지질도(1:50,000) 함양도폭 및 설명서. 한국자원연구소, 16p.
 김남장, 김정환, 1970, 한국지질도(1:50,000) 거창도폭 및 설명서. 국립지질조사소, 14p.
 김용준, 1986, 영남육괴에 분포하는 고기화강암질암의 지질 연대와 성인에 대한 연구. 광산지질, 19, 특별호, 151-162.
 김용준, 김정빈, Dallmeyer, R.D., 1987, 운봉-아영 지역에서 나타나는 압쇄상 화강암에 대한 암석기재학적 연구. 광산지질, 20, 125-136.
 김용준, 조동룡, 박영석, 1989, 거창지역에 분포하는 중생대 화성암류에 대한 연령과 조성분 광물의 화학조성. 광산지질, 22, 117-127.
 김용준, 김정빈, 박재봉, 1991, 호남전단대에 분포하는 염리상화강암류의 암석화학과 성인. 지질학회지, 27, 52-63.
 김용준, 조동룡, 이창신, 1998, 한반도 남서부 남원 일대에 분포하는 A형 대강 화강암의 암석학, 지화학 및 지구조적 의미. 자원환경지질, 31, 399-413.
 박계현, 이호선, 정창식, 2005, 영남육괴 중부 김천, 성주 및 안의지역 화강섬록암의 스핀 U-Pb 연대. 암석학회지, 14, 1-11.
 박영석, 김용준, 권성택, 박재봉, 1993, 거창-고령지역산 화성암류에 대한 Rb-Sr 동위원소 연구. 지구과학회지, 14, 32-43.
 이호선, 송용선, 박계현, 정창식, 2005, 영남육괴 중부 지역 일부 화강암의 연대 보고. 대한지질학회 정기총회 및 학술발표회, 초록집, 111.
 정창식, 권성택, 1999, 경상분지 북부에 분포하는 선캄악기 화강암류의 사마리움-니오디미움 광물연대. 지질학회지, 35, 159-166.
 정창식, 정연중, 길영우, 2004, 중부 옥천대의 중생대 화성

활동 시기: 청주-대전 지역 화강암질암의 U-Pb 스핀연대. 한국암석학회·한국광물학회 공동학술발표회 논문집, 21.
 조동룡, 최범영, 김용준, 2003, 대강 화강암과 함창 화강암의 SHRIMP U-Pb 저어콘 연대 측정: 220 Ma의 A형 화성활동. 대한지질학회 추계학술발표회 초록집, 101.
 진명식, 장보안, 1999, 소백산육괴 북동부 영주-춘양지역의 트라이아스기말-쥘라기초 화강암체의 열사 및 그 지구조적 의미. 지질학회지, 35, 189-200.
 황상구, 김상욱, 장태우, 김정민, 이상근, 1999, 영주저반의 관입상과 화성과정. 자원환경지질, 32, 669-688.
 황상구, 안웅산, 김상욱, 2000, 영주저반의 부석심성암체 내에서 공간적 조성변화와 그 성인. 자원환경지질, 33, 147-163.
 황인전, 박정서, 1968, 한국지질도 (1:50,000) 안의도폭 및 설명서. 국립지질조사소, 25p.
 홍세진, 2001, 각섬석 지암계를 이용한 영남육괴내 화강암의 정치심도와 그 의미. 암석학회지, 10, 36-55.
 홍승호, 윤욱, 1993, 한국지질도 (1:50,000) 장계도폭 및 설명서. 한국자원연구소, 17p.
 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, v. 11, p. 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, 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. The Island Arc, 12, 366-382.
 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 J., 3, 107-114.
 Lee, J.I., Jwa, Y.-J., Park, C.-H., Lee, N.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. Geochem. J., 33, 153-165.
 Mezger, K., Raunsley, 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. Geol., 99, 415-428.

- 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.
- 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.
- Scott, D.J., 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.
- Zhang, L.S., Schörrer, 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.

(2006년 2월 27일 접수; 2006년 3월 19일 채택)