

팔공산 화강암체의 냉각사와 접촉변성대

좌용주¹, 최원희²

¹ 경상대학교 지구환경과학과 (jwayj@gsnu.ac.kr)

² 서울대학교 지구과학교육과

1. 서언

팔공산 화강암체는 경상분지에 분포하는 백악기 화강암체 중에서 단일 암체로서의 노출 면적이 최대이다. 이 화강암체에 대한 냉각사 연구는 백악기 동안의 경상분지의 열적 진화를 이해하는데 매우 중요하다. 여기서는 팔공산 화강암체를 이루는 화강암의 K-Ar 광물 연대와 Rb-Sr 전암 연대의 측정 결과를 발표하여, 화강암체의 관입과 냉각의 시간 변화를 밝히고자 한다. 한편, 팔공산 화강암체가 경상분지의 다른 백악기 화강암체들과 차이를 보이는 것 중 하나는 매우 좁은 접촉변성대를 가진다는 것이다. 그 원인에 대해서도 여러 가지 가능성을 검토해보고자 한다.

2. 팔공산 화강암체의 방사성 연대

우리는 팔공산 화강암체를 이루는 화강암 시료에서 흑운모와 K-장석에 대한 K-Ar 연대 측정을 실시했으며, 또한 일부 염기성 미립 포획암(MME, mafic microgranular enclave)의 각섬석과 흑운모에 대한 K-Ar 연대 측정도 함께 실시했다. 그리고 화강암 시료들에 대한 Rb-Sr 전암 연대를 구하였다.

화강암의 경우 MME를 포함하지 않는 4개의 시료에서 매우 깨끗한 등시선 연대가 구해졌다. 전암 연대는 84 ± 9 Ma (95% confidence)이며, Sr 초생값은 0.706422 ± 3 (1σ)이다. 이 계산에서의 MSWD는 0.16이다. 이 값들은 기보고된 전암 연대 75 Ma와 초생값 0.70666과는 약간의 차이를 보인다 (김근수 외, 1997). 그런데 상기 4개의 화강암의 시료에 MME를 포함하는 화강암 시료 하나를 더하면 연대 78 Ma와 초생값 0.706503을 나타내는 오시선이 구해진다.

K-Ar 광물 연대를 보면, 화강암의 경우 흑운모의 연대가 71~72 Ma, K-장석의 연대는 43~44 Ma를 나타낸다. 한편 MME의 각섬석 연대는 68 Ma, 흑운모의 연대는 67 Ma를 보여, 화강암 보다는 약간 젊은 연대를 나타낸다.

3. 팔공산 화강암체의 냉각사

이번에 측정된 팔공산 화강암체의 연대로부터 암체의 냉각속도를 계산해 보면 다음과 같다. 전암, 흑운모, K-장석의 폐쇄온도를 각각 700°C, 300°C, 150°C로 생각하면, 화강암질 마그마의 고상선 온도에서 300°C까지의 냉각속도는 약 30°C/Ma이며, 300°C에서 150°C까지의 냉각속도는 약 5°C/Ma로 계산된다.

이 냉각속도는 경상분지 백악기 화강암체에서 알려진 일반적인 냉각속도 (300°C까지 50°C/Ma 이상)보다는 느린 편이지만, 온정리 화강암 (30°C/Ma)과 마산 각섬석-흑운모 화강암 (26°C/Ma)의 냉각속도와는 유사하다 (Lee, 1991; Shin and Nishimura, 1993; 정창식 외,

1998).

4. 팔공산 화강암체 주변의 접촉변성대

팔공산 화강암체 주변에는 폭 2 km 내외의 좁은 접촉변성대가 발달하고 있다. 접촉변성암은 주로 녹회색, 담회색, 흑색, 적색 등을 띠며, 부분적으로는 원래의 퇴적 층리가 보존되어 있다. 현미경 관찰과 X선 회절분석으로부터 접촉변성대를 구분하면, 비변성 퇴적암으로부터 녹니석대, 흑운모대, 양기석대로 분대할 수 있다. 그러나 이 접촉변성대의 폭은 기존에 보고된 폭에서 그다지 확장되지 않는다.

5. 좁은 접촉변성대의 원인

일반적으로 약 30°C/km 정도의 지온 구배에서 10 km 보다 얕은 장소에 관입하는 화강섬록암 내지 화강암 조성의 화강암체가 퇴적암과 접하게 되는 온도는 대략 500~700°C에 해당하며, 최소한 퇴적암과의 온도차가 200°C 이상으로 알려져 있다. 그리고 화강암체의 열전달 모델을 유도냉각모델로 설정하여 계산할 때, 접촉변성대의 폭은 화강암체 크기의 0.1 내지 1.0 정도에 해당한다 (Barton et al., 1988). 그러나 팔공산 화강암체의 접촉변성대는 화강암체 크기에 0.1에도 미치지 못한다. 이러한 좁은 접촉변성대의 원인으로 다음의 몇 가지 가능성이 고려될 수 있다.

첫째, 팔공산 주변에 관입한 화강암질 마그마의 고상선 온도가 같은 조성의 마그마보다 낮았을 가능성이 있다. 이 가능성에 대해서는 팔공산 화강암의 기재적인 특징에서 찾을 수 있다. 팔공산 화강암에는 부분적으로 전기석이 다량 포함되어 있다. 이 전기석은 열수에 의해 피복된 것이 아니라 마그마로부터 정출된 것이다. 실제 전기석은 마그마에서 800°C까지 안정한 광물이다. 마그마에서 전기석이 정출되기 위해서는 일정량의 붕소(B)가 포함되어야 하며, 이 붕소는 마그마의 고상선 온도를 60~80°C 정도까지 낮출 수 있다 (Pichavant, 1991). 하지만, 이 정도의 온도 강하만 가지고서는 매우 좁은 접촉변성대의 폭을 설명할 수는 없을 것 같다.

둘째, 팔공산 화강암체의 냉각속도가 접촉변성대의 폭을 제어했을 가능성이 있다. 접촉변성대의 폭은 화강암체의 냉각속도와도 관계하는데, 냉각속도가 느린 경우는 빠른 경우보다 변성대의 폭은 증가한다 (Barton and Hanson, 1989). 팔공산 화강암체의 경우 위에서 살펴본 듯이 경상분지의 백악기 화강암체의 일반적인 경우보다 냉각속도가 느리다. 때문에 냉각속도로 말미암아 접촉변성대의 폭이 좁아졌을 가능성은 거의 없다고 볼 수 있다.

셋째, 현재의 노두에서 관찰되는 접촉변성대는 마그마 챔버의 중간 내지 하부일 가능성이 있다. 일반적으로 접촉변성대는 관입한 마그마의 상부에서 그 폭이 넓게 나타난다 (Barton et al., 1991). 팔공산 화강암의 기재적 특징 중의 하나는 마치 집적암(cumulate)의 양상을 보인다는 것이다. 이것은 결정화되고 있던 마그마 챔버의 비교적 하부임을 지시하고, 따라서 접촉변성대의 폭이 넓게 발달하지 않았던 장소가 현재 노출되어 있을 가능성이 있다. 그러나 이 가능성을 정량적으로 해석하기에는 구체적인 자료가 부족하다.

넷째, 접촉변성작용을 효율적으로 일으키는 유체상의 부족이다. 팔공산 화강암체의 곳곳에는 멜트/유체의 분리를 나타내는 페그마타이트/반화강암의 부분적 관입이 발견되지만, 그 양은 그리 많지 않다. 이 사실은 화강암질 마그마에서의 유체분리가 그다지 활발하지 않았음

을 지시하며, 따라서 유체에 의한 열변성이 효율적이지 못했을 가능성을 나타낸다고 볼 수 있다. 한편, 팔공산 화강암은 그 최소융점의 조성에서 물에 불포화된 특징을 보이는데, 이 역시 비효율적인 유체상의 발달에 대한 이유가 될 수 있다.

위에서 살펴보았듯이 화강암질 마그마의 온도와 냉각속도는 팔공산 화강암체 주변에 발달한 좁은 폭의 접촉변성대를 설명하기에는 좋은 이유가 되지 못하는 것 같다. 반면에 화강암질 마그마로부터의 비효율적인 유체상의 분리는 좁은 접촉변성대의 한가지 가능한 이유로 고려될 수 있다.

6. 사사

화강암의 방사성 연대측정에 도움을 주신 한국기초과학지원연구원의 정창식 박사님, 김정민 박사님께 감사드린다. 이 연구는 한국과학재단 특정기초연구 (2000-2-13100-003-5)의 지원으로 수행되었다.

7. 참고문헌

- 김근수, 김정진, 박맹언, 1997, 경상분지에 분포하는 화강암질암체에 대한 Rb-Sr 연대. 한국 암석학회 학술발표회 요약집. 20p.
- 정창식, 권성택, 김정민, 장병욱, 1998, 경상분지 북부에 분포하는 온정리 화강암에 대한 암석학적, 동위원소 지구화학 연구 : 경상분지 다른 지역과 서남 일본 내대에 분포하는 백악기-제3기 화강암류와의 비교 고찰. 암석학회지, 7, 77-97.
- Barton, M.D. and Hanson, R.B., 1989, Magmatism and the development of low-pressure metamorphic belts: implications from the western United States and thermal modeling. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 101, 1051-1065.
- Barton, M.D., Staude, J.-M., Snow, E.A. and Johnson, D.A., 1991, Aureole systematics. In *Contact Metamorphism* (Kerrick, D.M. ed.) *Reviews in Mineralogy* v. 26, Mineral. Soc. Amer., 723-847.
- Barton, M.D., Battles, D.A., Bebout, G.E., Capo, R.C., Christensen, J.N., Davies, S.R., Hanson, R.B., Michelsen, C.J. and Trim, H.E., 1988, Mesozoic contact metamorphism in the Western United States. In *Metamorphism and Crustal Evolution of the Western United States* (Ernst, W.G., ed.) *Rubey vol.*, 7, 110-178.
- Lee, J.I., 1991, Petrology, mineralogy and isotopic study of the shallow-depth emplaced granitic rocks, southern part of the Kyoungsang Basin, Korea - origin of micrographic granite-. Unpub. PhD. thesis, Univ. of Tokyo, 197p.
- Pichavant, M., 1987, Effects of B and H₂O on liquidus phase relations in the haplogranite system at 1 kbar. *Am. Min.*, 72, 1056-1070.
- Shin, S.-C. and Nishimura, S., 1993, Thermal and uplift history of Mesozoic granites in Southeast Korea: new fission track evidences. *Jour. Petrol. Soc. Korea*, 2, 104-121.