

양산단층 주변 화강암질암 내에 나타나는 파쇄변형작용의 의의

황병훈^{1*}, 이준동¹, 손문¹, 김종선¹, 옥수석²

¹ 부산대학교 지구환경시스템학부(bhhwang@pusan.ac.kr)

² 경성대학교 교양과정부

1. 서론

경상분지 남동부 양산단층대 주변부에 분포하는 화강암질암체 내에서 파쇄변형을 받은 양상이 나타나는데, 이것은 경상분지 남동부에 활발히 활동하였던 단층들의 움직임의 나타내는 좋은 증거가 될 것으로 판단된다. 연구대상인 파쇄변형작용 양상을 보이는 노두는 경주 지역의 양산단층 동측지괴인 남산 알칼리장석화강암과 동래단층 북부 응촌 부근의 화강섬록암이다. 이 화강암들은 관입시기와 형성과정이 달랐을 것으로 추정되며, 이들 내에 나타나는 파쇄변형작용은 경상분지 남동부 양산단층을 비롯한 북북동-남남서 방향의 단층들의 움직임을 포함하는 한반도 남동부의 지구조환경 변화를 지시해주는 좋은 자료가 될 것이다.

특히, A-형 화강암으로 알려진 경주 남산의 알칼리장석화강암 내에 나타나는 파쇄변형대와 기계지역에 이와 유사한 알칼리장석화강암의 출현은 양산단층의 N6°E 방향 우수향 주향이동의 변위량을 측정하는데 매우 중요한 자료가 될 것이다. 또한, 연구지역 내 화강암류들은 주변 단층들에 의해 잘리거나, 또는 단층대 내에 관입하는 등 단층들에 의해 규제되므로, 이들 화강암류들의 암상별 관입시기를 구하면, 단층들이 움직인 시기에 관하여 좋은 정보를 제공해 줄 것으로 판단된다.

연구지역에서 가장 젊은 시기로 사료되는 알칼리장석화강암 내에 나타나는 변형작용은 양산단층이 이들이 고화된 적어도 약 50 Ma 이후에 우수향 주향이동을 하였음을 지시해 주며, 동래단층 부근의 화강섬록암 내에 나타나는 변형작용은 동래단층이 적어도 60 Ma 이후에 활동하였음을 시사해준다. 특히 약 50 Ma의 연령을 가지는 등립질화강암, 미문상화강암, 알칼리장석화강암이 경상분지 곳곳에서 약 60 Ma에 해당되는 I-형 화강암류인 화강섬록암과 반상화강암을 관입하여 산출하므로, 이 시기가 한반도 동남단에 대규모의 단층대를 형성하였던 시기라 판단된다. 특히 화강암체의 규모와 분포지역을 추적하여보면, 경주이북에서는 신장력에 의한 다량의 화강암질 마그마의 관입이, 경주 이남에서는 소규모의 관입암체가 단층 틈을 따라 상승하였던 것으로 추정된다. 또한, 이 시기를 한반도 주변 지구조환경과 비교하여 보면, 태평양판의 섭입에 의한 압축력이 인도판과 아시아판의 충돌에 의한 인장력으로 바뀌어 한반도 동남부에 작용하였을 시기라 추정된다.

2. 화강암류의 암석기재

경상분지 남동부 화강암질 암체는 지역별로 약간의 차이는 보이지만, 광물함량 및 조직에 따라 크게 6개의 암상으로 분류할 수가 있으며, 이들은 다시 지화학 및 동위원소 구성에 따라 3개의 그룹으로 묶을 수 있다. 첫 번째 그룹(그룹 I)에는 화강섬록암, 포획암 함량이 많은 반상화강암, 포획암 함량이 적은 반상화강암의 세 암상이 포함되고, 두 번째 그룹(그룹 II)에는 등립질화강암, 미문상화강암의 두 암상이 포함되며, 세 번째 그룹(그룹 III)에는 알칼리장석화강암의 한 암상이 포함된다. 그룹 I의 화강암류는 염기성 미립 포유체(MME: mafic

microgranular enclave) 그리고/또는 염기성광물 집합체(mafic clot)를 함유하고 있는 특징을 가지는데, 이는 산성마그마와 염기성마그마의 불균질혼합의 영향을 나타낸다(김종선, 2001; 진미정 외, 2000; 좌용주와 김진기, 2000; 신기철, 2001). 그룹 II와 그룹 III의 화강암류는 정상분지 곳곳에서 그룹 I의 화강암류를 관입하고 있으며, MME와 염기성광물 집합체를 함유하지 않으므로, 이들은 그룹 I의 화강암류와는 다른 마그마활동으로 형성된 것으로 판단된다. 한편 그룹 III의 경주지역 알칼리장석화강암은 그룹 II의 등립질화강암을 관입한 것으로 보고되어 있으나(이미정 외, 1995; 고정선 외, 1996; 이종의 외, 1997; 이준동과 황병훈, 1999), 이들의 관입관계는 동위원소 연구결과 재고가 필요할 것으로 사료된다. 그룹별 연령측정결과, 그룹 I은 약 58~59 Ma, 그룹 II는 50~53 Ma, 그리고 그룹 III은 49~50 Ma에 해당되며(황병훈, 2004), 이 연령은 고정선(2001)에 의한 경주지역의 화강암류들의 암상별 연령과 비교적 잘 부합된다.

파쇄변형작용을 보이는 암체는 그룹 I의 화강섬록암과 그룹 III의 알칼리장석화강암이며, 이들의 암석기재적 특징은 다음과 같다.

2.1 양산단층 경주지역의 알칼리장석화강암

경주시 남부 남산일원에 분포하고 있는 알칼리장석화강암은 A-형 화강암으로 알려져 있으며(윤성효와 황인호, 1991; 이미정 외, 1995; 고정선 외, 1996; Kim and Kim, 1997), 육안으로 회백색 내지 유백색을 띄며, 중립 내지 세립의 등립상 조직을 보이는 암체이다. 간혹 페그마타이트 내 석영과 장석 등이 산출되며, 각섬석의 거정도 발견되기도 한다. 경하에서 주로 석영과 퍼타이트질 장석만으로 구성되어 있으며, 간혹 이들의 간극을 충전하는 알칼리각섬석과 알칼리흑운모가 관찰된다. 특히 단결정의 사장석이 나타나지 않는 것이 특징이다.

이 암체의 서측부인 양산단층 동측 삼릉 일원의 한 노두에서 N6°E 방향의 폭 1m 내외의 파쇄대를 관찰할 수 있으며, 이 파쇄대와 모화강암의 인접부에서는 석영과 장석등이 길게 신장된 것이 관찰된다. 이 암석을 박편 제작하여 현미경 관찰한 결과, 암석이 파쇄된 것으로 밝혀졌다. 파쇄되어 있는 3~4 mm 정도의 큰 암편들 사이로 0.1~0.2 mm 내외의 잘게 부서진 암편들이 관찰된다. 큰 암편과 잘게 부서진 광물편을 구성하는 광물들은 대부분 석영과 퍼타이트질 장석이다. 큰 암편을 구성하는 1~2 mm 석영과 퍼타이트도 대부분 파쇄작용을 받았으며, 일부 석영결정에 변위가 보인다.

따라서 남산 알칼리장석화강암은 관입 고화된 이후 파쇄변형작용을 받았음이 확인되며, 이 암석의 노두가 양산단층선에 접하고 있고, 또, 경주이북의 양산단층선을 따라 약 25 km 정도 북상하면 양산단층의 서측 지괴인 기계지역에 이와 유사한 알칼리장석화강암이 분포한다. 이들의 노두에서 파쇄대를 아직 발견하지는 못했지만, 암석기재적 특징과 지화학적 특징이 남산지역의 암석과 거의 흡사하므로 동일한 암체로 판단된다(황병훈, 2004). 따라서, 이들 자료들은 양산단층의 경주 이북지역 우수향 주향이동의 변위량을 측정가능케 하는 증거 자료로 제안할 수 있을 것이다.

2.2 동래단층 북부 응촌지역의 화강섬록암

동래단층 북부 응촌 부근에서도 화강섬록암 내에 심한 변형작용을 받은 암석을 관찰할 수 있다. 대부분 각섬석, 흑운모를 함유하는 중립의 등립상 화강섬록암이며, 암회색 내지 녹색 회색을 띄며, 육안으로 유색광물들의 집합체가 슬리렌의 형태를 나타낸다. 하지만 이들을 경하에서 살펴보면, 유색광물의 슬리렌이 아니고, 파쇄에 의해 잘게 부서진 석영 및 장석의

광물편이다. 파쇄되지 않은 모화강암 부분은 석영, 사장석, 정장석, 그리고 변질작용으로 형성된 녹니석등으로 구성되어 있으며, 파쇄되지 않은 모화강암 암편 사이로 약 0.1 mm 이하로 잘게 부서진 광물편들이 관찰된다.

드물게 파쇄된 부분과 파쇄되지 않은 모화강암 암편 사이의 경계부의 일부 결정에서 극세립의 미문상조직이 관찰되는데, 이것은 일반적으로 경상분지 화강암류에 알려진 천소관입에 의해 수반되는 압력감소에 의한 과냉각으로 형성된 미문상조직(Lee, 1991)이 아니라, 순간적인 파쇄작용으로 수반되는 온도상승 또는 감압효과로 인해 장석입자의 파괴에 의한 치환으로 형성된 것으로 판단된다(Barker, 1990). 또한, 이들 경계부의 일부 사장석 입자의 가장자리에 부분적으로 용융된 흔적이 나타나는 것도 이와 같은 파쇄작용에 의한 결과로 해석된다. 본 암체 내에서 나타나는 파쇄대는 변형작용에 의해 아주 고온의 환경에 순간적으로 도달하였거나, 마그마가 완전히 고화가 일어나기 전에 변형작용을 받은 것으로 추정된다. 또한 본 암체에서는 알칼리장석화강암처럼 일정한 폭을 가지는 뚜렷한 파쇄대가 나타나지 않은 특징을 보이므로, 연성변형작용을 지시하는 것으로 추정된다.

3. 파쇄변형작용의 의의

연구지역 화강암류 내에 나타나는 파쇄변형작용은 화강암류의 관입이후 단층작용이 있었음을 시사해주며, 시기가 다른 암상에 다른 형태의 파쇄변형작용이 나타난다는 것은 단층대의 움직임에 포함하는 지구조환경의 변화와 밀접히 연관되었을 것으로 판단된다. 또한 단층의 움직임 방향과 이동거리, 그리고 운동 시기를 규명하는 것은 궁극적으로 고응력을 복원시켜 그 당시의 지구조환경을 추정하는데 가장 큰 의의가 있다고 하겠다. 연구지역 화강암류의 초기 암상들(그룹 I)이 58~59 Ma의 관입시기를 보이며, 이들을 후기에 관입한 것으로 추정되는 암상들(그룹 II와 그룹 III)이 50~53 Ma에 해당하므로, 이 시기는 한반도의 제3기초인 에오세에 해당된다. 한반도 주변 지구조환경과 관련된 시기들을 살펴보면, 태평양-쿨라해령의 섭입시기가 약 70 Ma (Uyeda and Miyashiro., 1974), 인도 북쪽 Lhasa block의 초기 충돌이 65~60 Ma이며 봉합이 일어나는 시기가 55~50 Ma (Patzelt et al., 1996), 인도판이 유라시아판과 충돌한 시기가 대략 45 Ma (Hall, 2002), 그리고, 태평양판의 북북서-남남동 운동방향이 북서-남동으로 바뀔 시기가 엠페러-하와이제도의 굴절에 근거하여 약 43 Ma로 보고되었다(McDougall, 1979; Richards and Lithgow-Bertelloni, 1996). 따라서, 경상분지 내 양산단층의 운동시기가 인도대륙과 아시아대륙의 충돌시기와 유사하며, 태평양판의 움직임 방향이 전환되는 시기와의 중첩이 되므로 이와 관련이 있을 것으로 판단된다. 또한, 한반도에서 인도-아시아 대륙 충돌에 의한 영향을 지시할 것으로 추정되는 동해의 확장시기와 바이칼호수의 확장시기와도 관련되었을 것으로 판단된다(김인수, 1992).

4. 참고문헌

- 고정선, 2001, 경상분지내 남산 A-형 화강암과 경주 I-형 화강암류에 대한 광물학적, 지화학 적 및 Sr-Nd 동위원소 연구. 부산대학교 박사학위논문, 173p.
- 고정선, 윤성효, 이상원, 1996, 경주 남산일대의 A-형 화강암의 암석학 및 지화학적 특성. 암석학회지, 5(2), 142-160.
- 김인수, 1992, 새로운 동해의 성인모델과 양산단층계의 주향이동운동. 지질학회지, 28(1), 84-109.

- 김중선, 2001, 경상분지 남부 지역의 화강암류에 산출되는 포유체의 암석학적 연구: 마그마 불균질 혼합에 관한 고찰. 부산대학교 이학박사 학위논문, 211p.
- 신기철, 2001, 유천화강암체내에 산출되는 화강암질 마그마와 염기성 마그마의 상호작용에 관한 연구. 부산대학교, 석사학위논문, 106p.
- 윤성호, 황인호, 1990, 경주 남산일대의 화강암의 암석학 및 지구화학의 특성. 한국지구과학회지, 11(1), 51-66.
- 이미정 외, 1995; 이미정, 이종익, 이민성, 1995, 경주지역의 A-형 알칼리화강암에 대한 광물학 및 주성분원소 지구화학. 지질학회지, 31(6), 583-607.
- 이종익, 이미정, 두경택, 이민성, Keisuke Nagao, 1997, 경상분지 중동부 울산-경주지역의 화강암체에 대한 K-Ar 연대 측정. 한국지구과학회지, 18(5), 379-386.
- 이준동, 황병훈, 1999, 경주 남산-토함산 일원의 화강암류에 관한 암석학적 연구. 한국지구과학회지, 20권, 1호, 80-95.
- 좌용주, 김진기, 2000, 의성분지 보현산 일대 화강암류와 포획암에 대한 암석학적 연구. 암석학회지, 9(3), 187-203.
- 진미정, 김중선, 이준동, 김인수, 백인성, 2000, 양산시 원효산 화강암에 산출되는 포획암에 대한 암석학적 연구. 암석학회지, 9(3), 142-167.
- 황병훈, 2004, 경상분지 남부지역의 화강암질암에 대한 암석학, 동위원소 및 성인. 부산대학교 박사학위논문, 309p.
- Barker A.J., 1990, Introduction to metamorphic textures and microstructures. Blackie Glasgow & London, 1-169.
- Holl, R., 2002, Cenozoic geological and plate tectonic evolution of SE Asia and the SW Pacific: computer-based reconstructions, model and animations. Journal of Asian Earth Sciences, 20, 353-431.
- Kim, C.S. and Kim, G.S., 1997, Petrogenesis of the early Tertiary A-type Namsan alkali granite in the Kyongsang Basin, Korea. Geosciences Journal, 1-2, 99-107.
- Lee, J.I., 1991, Petrology, mineralogy and isotopic study of the shallow-depth emplaced granitic rocks, southern part of the Gyeongsang basin Korea: Origin of micrographic granite. Ph D. thesis, Univ. of Tokyo, 197p.
- McDougall, I. 1979, Age of Shield-building Volcanism of Kauai and Linear Migration of Volcanism in the Hawaiian Island Chain. Earth & Planet Sci. Letters, 46, 31-42.
- Patzelt, A., Li, H., Wang, J., and Appel, E., 1996, Palaeomagnetism of Cretaceous to Tertiary sediments from southern Tibet: evidence for the extent of the northern margin of India prior to the collision with Eurasia. Tectonophysics, 259, 259-284.
- Richards, M.A., and Lithgow-Bertelloni, C., 1996, Plate motion changes, the Hawaiian-Emperor bend, and the apparent success and failure of geodynamic models. Earth and Planet Science Letters, 137, 19-27.
- Uyeda, S., and Miyashiro, A., 1974, Plate tectonics and Japanese islands: A syntexis. Geol. Soc. Am. Bull., 85, 1159-1170.