

대마도 남부 일원의 신생대 취성-아취성 지질구조요소 분석

김홍균* · 송철우 · 손 문¹⁾ · 김인수

1. 서 론

대마도 서부 해안을 따라 한반도의 양산단층대와 동해 울릉분지의 서쪽 경계단층인 동한단층의 연장으로 추정되는 쓰시마-고토 단층대가 북북동방향으로 지나가고 있다. 이 단층대는 동해가 활발히 확장되던 시기 즉, 24~16Ma 경에 우수향주향이동 운동을 하여 대마도 일대에 인장력을 발생시켰으며, 약 15 Ma경에는 북상하는 필리핀해판과 남서 일본열도의 충돌로 응력이 반전되어 북서-남동방향의 압축력을 작용한 것으로 알려져 있다(Fabbri *et al.*, 1996; Itoh and Nagasaki, 1996; Itoh, 2001). 따라서 이곳의 지질구조에 대한 심도 있는 연구는 한반도 동남부 마이오세 퇴적분지들의 확장과 변형에 대한 이해를 보다 증대시킬 뿐만 아니라 나아가 신생대 동아시아 지각변천사를 편찬함에 있어서도 중요한 가치가 있다.

이번 연구에서는 대마도 남부 지역을 대상으로 다양한 취성-아취성의 지질구조요소들의 기하 및 운동학적 자료들이 수집되었다. 퇴적 동시기성 정단층과 지층자세, 퇴적 후기 절리군, 단층 및 전단단열, 관입암류의 방향성, 습곡과 관련된 각종 구조요소 등에 대한 분석이 이루어졌으며, 이를 통해 대마도에서의 신생대 고응력장의 변천사를 검토하였다.

2. 지질 개요

대마도 남부는 후기 올리고세~전기 마이오세의 다이슈층군 중 하부층과 중부층이 주로 분포한다(Fig. 1; Takahashi, 1969; Sakai and Kawahara; 1998). 이 층군은 주로 암회색~흑색의 셰일과 사암의 교호층으로 구성되며 일부 역질 사암과 역암이 협재된다. 암상과 퇴적구조는 대체로 조간대환경과 북쪽방향의 고수류를 지시하는 것으로 알려져 있다. 북쪽으로 갈수록 지층의 상대적인 연령은 젊어지는 양상이며, 하부층과 중부층 사이에는 쓰시마화산력응회암으로 명명된 대사이트질 응회암이 협재된다. 열쇠층이 되는 이 응회암의 피션트랙과 K-Ar 전암연령은 각각 30~18Ma, 44~46Ma로 알려져 있으나(Takahashi and Hayashi, 1985; Sakai and Yuasa, 1998) 정확한 절대연령에 대해서는 논란이 계속되고 있다.

다이슈층군을 관입한 암석들은 대부분 산성질 암석으로 화강암, 화강반암, 석영반암이며 일부 조립질 현무암류도 관찰된다. 산성암의 관입 시기는 15Ma 전후인 것으로 알려져 있다(Fabbri *et al.*, 1996). 다이슈층군 하부층을 관입한 암주상의 화강암체는 주변 암석을 접촉열변성시켰으며, 염기성 마그마와 산성질 마그마의 불균질 혼합에 의해 생성된 염기성미립포유체(Mafic Microgranular Enclaves)가 흔히 관찰되는 것으로 보아 대마도 남부 일원은 15Ma를 전후로 하여 마그마가 혼합되는 사건이 발생한 것으로 판단된다.

주요어 : 쓰시마-고토 단층대, 다이슈층군, 평행습곡, 마이오세 분지형성, 북서-남동 압축, 퇴적동시기성 공액상 정단층군

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

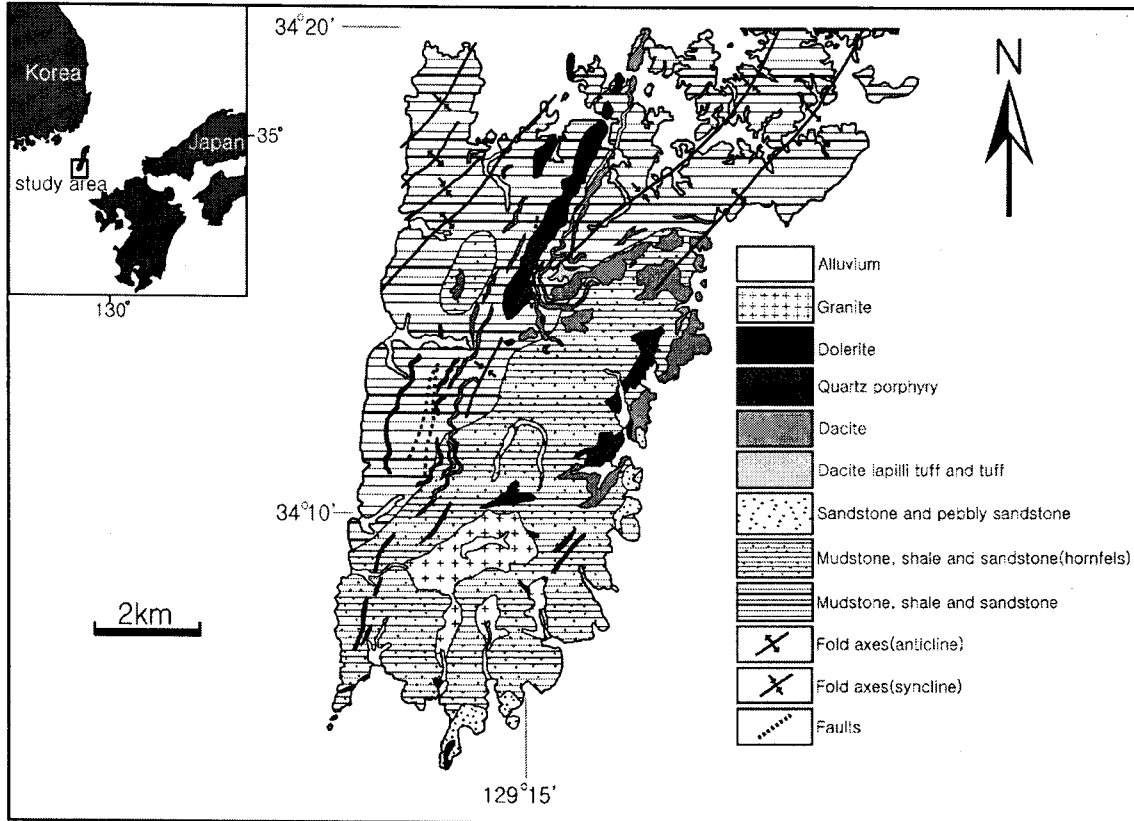


Fig. 1. Geological map of the Tsushima Islands(IZUHARA, Institute of Geology and Geoinformation, Japan, 1990).

3. 취성-아취성 구조요소 분석결과

연구지역은 북동 내지 북북동 방향의 축을 가지는 습곡구조가 지배적이며 습곡축은 대부분 북동쪽으로 20° 내외로 경사진다. 사질층과 니질층이 교호되는 지역의 습곡은 날개와 힌지 부분의 두께가 거의 일정하며 층간 미끌림에 의한 조선과 광섬유구조는 습곡축에 수직인 면상에 배열된다. 또한 이 습곡들은 대체로 세브론 형태로 힌지 부분에 붕괴와 변형이 집중되고 있어 강인성(competency)의 차이가 크고 층간 미끌림이 발생하여 만들어지는 취성~아취성의 평행(parallel)습곡이다. 그러나 주로 니질층으로 구성된 지역의 습곡은 평행습곡과 동형(similar)습곡의 중간단계로, 강인성의 차이가 큰 원형(circular)습곡의 형태를 보인다. 또한 습곡된 지층의 외호에는 습곡축과 평행하게 갈라진 틈을 따라 주입된 광맥들이 곳곳에 관찰된다. 대 습곡에 수반된 소 습곡들이 다수 관찰되는데 이들 역시 대부분 평행습곡의 형태로 축은 N40°~60°E로 배열되고 평균 23° 북동방향으로 경사되어 있다. 니질층에 발달하는 소 습곡들에서는 습곡 측면에 평행한 방향으로 쪼개짐이 발달하는데 이들은 N40°~50°E 주향과 70°~85°SE의 경사를 보여준다. 소 습곡 측면의 남동방향으로 편향된 경사는 야외 노두에서 많은 습곡들이 북서향의 운동향(vergence)을 지시하는 비대칭구조를 보이고 있음과 부합된다.

연구지역의 다이슈층군의 절리계는 크게 두 방향의 절리군으로 구분된다: 1) 북서방향 절리군, 2) 북동방향 절리군. 전자는 습곡 동시기성 압축력과 관련된 인장절리로 후자는 습곡 동시기~후기 용기로 인한 인장절리로 해석된다. 북서방향 절리군이 북동방향 절리군에 비해 우세하게 산출되며 절단관계 등의 야외자료는 전자가 먼저 생성되었음을 지시한다. 북서방향 절리

군을 따라서 방해석 광맥이 보다 우세하게 발달하며, 야외에서 관찰된 관입암류들의 방향성도 대체로 북서방향을 보인다. 한편, 산성질 관입암류에서는 북서방향의 절리군만 관찰되는 있어 습곡운동은 이들 관입암류의 관입이후에는 종결된 것으로 해석된다.

단층과 전단단열 그리고 공액상 단열들의 기하 및 운동감각 자료를 이용한 고응력장 복원 결과, 항상 수평에 가까운 북서-남동방향의 최대 주응력(σ_1)을 지시하고 있어 대부분 연구지역의 습곡형성과 관련된 구조인 것으로 해석된다. 그러나 σ_1 의 방향은 동일하나 노두에 따라 σ_2 와 σ_3 가 교대되고 있어 습곡이 형성되는 동안 지역 및 시간적으로 응력장의 형태가 변화되는 것으로 판단된다. 한편, 도출된 응력장은 대부분 σ_2 또는 σ_3 가 남서쪽으로 50° 내외로 경사져 있어 습곡 이후 북동향의 경동운동이 있었음을 지시하며 이러한 경동은 대마도 남부 지역의 암주상의 화강암체의 관입의 결과일 가능성이 높다(박준석 외, 2006).

연구지역은 후기 압축력에 의해 기존 구조들의 재활성 등으로 퇴적 동시기성 구조들을 관찰하기 쉽지 않다. 이번 조사에서는 한개 노두 지점에서 42개의 퇴적 동시성 공액상 소규모 정단층들이 관찰되었다. 이들의 자세를 먼저 습곡축의 경사자세를 이용하고 다음으로 지층면의 자세를 이용하여 복원한 후 응력장을 해석한 결과, 남북방향의 수평 최소 주응력(σ_3)과 동서방향의 중간 주응력(σ_2) 그리고 아수직의 최대 주응력(σ_1)의 응력장이 도출되었다. 이는 다이슈층군이 퇴적되는 동안 남북방향의 인장응력이 작동하였음을 지시한다.

4. 결론

대마도 남부 일원에서 획득된 다양한 취성~아취성 지질구조요소 자료들의 기하 및 운동학적 특징들을 분석한 결과, 이곳 신생대 고응력장 변천과 이에 따른 주요 지질사건은 다음과 같이 정리할 수 있다.

1) 후기 올리고세~16 Ma 남북방향의 횡인장성 응력장: 쓰시마-고토 단층대의 우수향 주향이동 단층운동으로 인한 남북방향의 지각 신장으로 분지가 형성되어 다이슈층군이 퇴적되었으며 퇴적층 내에 동서방향의 공액상 정단층계 형성

2) 약 15 Ma 북서-남동방향의 횡압축성 응력장: 북서-남동방향의 압축으로 다이슈층군에 북동방향의 습곡이 형성되고 지각이 빠른 속도로 융기. 이로 인해 북서방향의 압축력에 수반된 습곡동시기성 인장 절리군이 형성되었으며, 이후 습곡운동으로 지각이 융기되고 습곡 동시기~후기 북동방향의 인장 절리군의 형성. 이 시기에 기존 단층들은 재활성되고 북서-남동방향의 압축력을 지시하는 공액상 단열들이 형성되었으며, 습곡이 형성되는 동안 σ_1 의 방향은 일정하였으나 지역 및 시간적으로 σ_2 와 σ_3 가 교대되는 사건이 발생. 지역적으로 북서방향의 산성 및 염기성 마그마의 관입발생

3) 15 Ma 이후 지각경동: 대마도 남부의 암주상 화강암체의 관입으로 지각이 북동방향으로 약 20° 경동. 화강암체의 관입이후 습곡활동 및 북서-남동방향 지각 수축의 종결.

이상의 대마도에서의 다양한 취성~아취성 지질구조요소들을 이용한 고응력장과 지질사건에 대한 해석을 보다 거시적인 동아시아의 신생대 지각변형사의 해석으로 발전시키기 위해서는 한반도 동남부를 비롯한 대마도 주변 지역에서 밝혀진 지질구조와 지각변형의 특성들 그리고 신생대의 주요 지구조 사건들과 대비하여 종합적으로 분석하는 노력이 요구된다.

참고 문헌

- 박준석, 김홍균, 송철우, 손문, 2006, 일본 대마도 남부의 지질과 지질구조 (예비조사). 2006년 춘계학술대회 논문집, 대한자원환경지질학회, 제주 한화리조트, 4월 19-21일, 273-278.
- Fabbri, O., Charvet, J. and Fournier, M, 1996, Alternate senses of displacement along the Tsushima fault system during the Neogene based on fracture analyses near the western margin of the Japan Sea. *Tectonophysics* 257, 275~295.
- Itoh, Y. and Nagasaki, Y., 1996, Crustal shortening of Southwest Japan in the late Miocene. *The Island Arc*, 5, 337-353.
- Itoh, Y, 2001, A Miocene pull-apart deformation zone at the western margin of the Japan Sea back-arc basin: implications for the back-arc opening mode. *Tectonophysics*, 334, 235~244.
- Sakai, H. and Kawahara, K., 1998, Paleogene Nogi and Ugetsuiwa subaqueous pyroclastic flow deposits in the Tsushima Islands, northwest off Kyushu. *Mem. Natn. Sci. Mus.*, Tokyo, 31, 29-47.
- Sakai, H. and Yuasa, T, 1998, K-Ar Ages of the Mogi and Ugetsuiwa Subaqueous Pyroclastic Flow Deposits in the Taishu Group, Tsushima Island. *Mem. Natn. Sci. Mus.*, Tokyo, 31, 23-28.
- Takahashi, K., 1969, A study of the Taishu Group. *Arts. Nagasaki Univ. National Science*, 10, 67-82.
- Takahashi, K. and Hayashi, M., 1985, Fission track ages of igneous rocks from Tsushima Islands (I). *Bull. Fac. Lib. Arts, Nagasaki Univ. Nat. Sci.*, 27, 19-31.