

한반도 남서부지역에 분포하는 백악기 화강암류에 대한 지화학적 연구

위수민^{1*} · 박세미¹ · 최선규² · 유인창³

¹한국국유원대학교 지구과학교육과, ²고려대학교 지구환경과학과, ³경북대학교 지질학과

Geochemical Study of the Cretaceous Granitic Rocks in Southwestern Part of the Korean Peninsula

Soo Meen Wee^{1*}, Se Mi Park¹, Seon Gyu Choi² and In Chang Ryu³

¹Dept. of Earth Sci., Korea National Univ. Edu., Chungbuk 363-791, Korea

²Dept. of Earth and Env. Sci., Korea Univ., Seoul 136-701, Korea

³Dept. Geol. Sci., Kyungpook Univ., Kyungpook 702-701, Korea

Cretaceous intrusive and extrusive rocks are widely distributed in the southwestern part of the Korean peninsula, possibly the result of intensive magmatism which occurred in response to subduction of the western proto-Pacific plate beneath the north-eastern part of the Eurasian plate. Geochemical and petrological study on the Cretaceous granitic rocks were carried out in order to constrain the petrogenesis of the granitic magma and to establish the paleotectonic environment of the area. Whole rock chemical data of the granitic rocks from the study area indicate that the all the rocks have characteristics of calc-alkaline series in the subalkaline field. The overall geochemical features show systematic variations in each granitic body, but the source materials of each granitic body are thought to have been different in their chemical composition. Higher values of Fe_2O_3/FeO of the granitic rocks in the western area suggest that the granitoids had been solidified under highly oxidizing environment. The granitic bodies in the eastern area also show higher contents of Li, Ni, Co, Sr, Cr, Sc and lower Rb and Nb compared to the those of the western area. Chondrite normalized REE patterns show generally enriched LREE and strong negative Eu anomalies in the western area, while slight to flat Eu anomalies in the eastern area. The REE and $(La/Lu)_{CN}$ of the granites are 60~499 ppm and 8.9~66 correspond to the range of the continental margin granite. On the ANK vs. ACNK and tectonic discrimination diagrams, parental magma type of the granites corresponds to I-type, VAG and syn-collision granite. Interpretations of the chemical characteristics of the granitic rocks favor their emplacement in a compressional tectonic regime at continental margin during the subduction of proto-Pacific plate.

Key words : granite, calc-alkaline, I-type, VAG

한반도 남서부 지역은 고태평양판의 섭입에 의한 화성활동이 매우 활발했던 지역으로 백악기 화강암류와 이와 성인적으로 밀접한 관련이 있는 것으로 추정되는 화산암이 넓게 분포하고 있다. 백악기 화강암류를 형성시킨 마그마의 특성 및 지구조적 환경을 규명하고자 이미 보고 된 185개의 자료와, 야외 지질 조사를 통해 얻은 시료 중 신선한 36개의 시료에 대해 주성분 원소, 미량원소에 대한 지화학 분석을 실시하였다. 본 역 화강암류들은 전형적으로 I-type의 비알칼리암 중 칼크-알칼리 계열에 속하며 ANK vs. ACNK도에 도시해볼 때 대부분 메타알루미나질에 해당된다. 주성분 및 미량원소의 변화경향은 일반적인 화강암류의 변화경향과 유사하지만 지역별 주성분 및 미량원소의 특성을 살펴보면 이들 화강암류가 동원마그마 기원이 아님을 시사한다. 연구 지역의 동쪽에 분포하는 화강암체들은 서부에 비해 높은 Li, Co, Sr, Sc의 함량과 낮은 Rb, Nb의 함량을 나타낸다. 미량원소의 함량은 화강암의 세계 평균값보다 전반적으로 높게 나타나는 경향이 있으며, 특히 Cr, Co, Ni, V, Sc 등의 철-마그네슘 계열 원소의 함량이 더 높게 나타났다. 희토류원소는 모두 LREE가 HREE보다 부화되어 화강암류의 전형적인 패턴과 일치하며, 서부 지역이 동부 지역보다 더 뚜렷한 Eu(-)이상을 갖는다. 지구조 판별도에서도 VAG와 syn-COLG 환경에 점사된다. 본 연구지역의 화강암류들은 대륙연변부에서 나타나는 화강암류의 희토류원소의 총량(60~499 ppm)과 $(La/Lu)_{CN} = 8.9\sim 66$ 의 범위에 해당되며 모든 지화학적 자료를 종합해보면 이지역의 화강암류들은 고태평양판의 섭입에 의한 압축장이 작용하는 대륙 연변부에서 생성되었음을 알 수 있다.

주요어 : 화강암, 칼크-알칼리, I-type, 화산호화강암

1. 서 론

한반도 남서부 지역은 고태평양(proto-Pacific)판의 섭입에 의한 화성활동이 매우 활발했던 지역으로 화성활동의 산물인 백악기 화강암류와 이와 성인적으로 연관이 있는 것으로 추정되는 화산암류들이 넓게 분포하고 있다. 본 연구 지역은 한반도 남서부일대로서 영동-광주함몰대의 남서부에 위치하는 해남, 영암, 장흥, 완도 지역과 영남육괴의 남서부인 고흥, 벌교, 보성, 순천 지역 그리고 경상분지의 남서부에 위치한 광양, 여수 지역으로, 이 지역에 분포하는 화강암질암에 중점을 두었다.

연구 지역 내의 영암(김정빈 등, 1994; 이창신과 김정빈, 1996), 완도(신인현, 1994; 신인현 등, 1994), 해남(김용준 등, 1993; 신인현과 남기상, 1993; 김용준 등, 1994), 장흥(김희남 등, 1997), 벌교(김정빈과 박영석, 1996), 고흥(박영석 등, 1997; 윤정환 등, 1999), 순천-광양(이창신 등, 1992; 박천영 등, 1993), 여수-돌산 지역(김희남 등, 1994)의 화성암류에 대한 지역적인 지화학적 연구는 이루어졌으나 돌산을 제외한 여수 지역과 보성 일대 화성암류에 대한 지화학적 연구가 거의 이루어지지 않았기에 본 연구에서는 여수, 보성 일대의 야외 지질 조사를 통해 53개의 시료를 채취하여 그 중 신선한 36개의 시료에 대한 지화학 분석을 실시하였다.

지금까지 한반도 남서부 화강암류에 대한 각 지역별 연구는 활발히 이루어졌으나, 주변 지역간의 지화학적 특성에 대한 체계적인 비교, 분석 및 정리가 이루어지지 않았다. 따라서 본 연구에서는 보성, 여수 지역을 비롯한 한반도 남서부 일대 화강암류에 대한 지화학 분석 자료를 이용하여 주변 암체들 간의 지화학적 특성을 비교·분석하고자 한다. 이를 위해 본 지역에 대한 선행 연구 자료 중 185개의 시료에 대한 자료를 정리하여 보성, 여수 지역을 포함한 총 221개 시료에 대한 해석을 실시하였고, 화강암류의 주성분원소, 미량원소, 희토류원소에 대한 지화학적 분석을 통해 한반도 남서부 일대 화강암류를 형성 시킨 마그마의 특성과 분화 및 지구조적 환경을 밝혀내고, 이를 토대로 본 역에 분포하는 화성암류들을 지화학적 특성에 따라 분류해보고자 한다.

2. 지질개요

한반도 남서부 일대는 대부분 선헤브리아기 변성퇴

적암류 및 변성암을 기반으로 백악기 화산암류와 퇴적암류들이 이를 부정합으로 덮고 있으며, 이를 백악기 화강암류가 관입하고 있다. 보성, 여수 지역을 제외한 지역의 일반지질은 앞에서 언급한 선행연구자들에 의해 자세히 기술되어 있기에 이 논문에서는 보성, 여수 지역의 지질만 언급하였다.

보성 지역의 지질은 고기편마암류 그리고 변성퇴적암류와 이를 부정합으로 피복하는 퇴적층 그리고 이들을 관입한 화성암류와 소규모의 용암류 및 응회암으로 구성된다(Fig. 1). 고기편마암류는 화강편마암, 반상변정편마암, 혼성편마암 등으로 구분된다(김용준, 1988). 일부 화강편마암과 변성퇴적암류의 접촉부에 화강암질 물질의 고대작용에 의해서 점이적 변화를 일으켜 화강편마암류는 혼성편마암, 또는 혼성편암대를 거쳐 녹니석견운모편암으로 이화하고 있는 것을 보여준다(이상만과 김형식, 1966). 변성퇴적암류는 본 연구 지역의 서단에서부터 북북서방향으로 일정한 구조대를 이루면서 길게 분포되어 있으며, 편암을 최상부로 하고 그 위에 부정합으로 오봉층이 피복하고 있다. 본 역 서부에는 화강암질편마암과 이를 부정합을 피복하는 응회암, 유문암과 유문각력암이 소규모 분포되어 있고, 북서부에는 동북도폭의 무등산용암과 대비되는 안산암류와 상동리응회암이 소규모로 분포하고 있으며 이들 화산암류들은 화강섬록암, 흑운모화강암들에 의해 관입당하고 있다.

화강섬록암은 이 지역의 중앙부인 천마산과 배안산 축지 부근에 분포되어 있으며 반상변정편마암을 관입하고 있다. 대체로 북동-남서방향으로 길게 연장된 분포 형태를 보여 주며 축지 일대에 분포된 화강섬록암은 흑운모 화강암에 부분적으로 둘러싸여 있다. 흑운모화강암은 평촌 사래 등 일부 지역에 한정 분포되어 있고 화강섬록암에 접하여 나타난다. 봉정리 오산에서는 화강암의 세맥이 화강섬록암을 관입하고 있다. 흑운모화강암은 화강섬록암과 동일 마그마에서 생성하여 마그마 분화작용 후기에 관입한 것으로 사료된다(이상만과 김형식, 1966).

여수 지역은 경상분지 남서쪽에 위치하며(Fig. 1) 백악기 경상누층군의 신동층군과 유천층군에 속하는 각종 화산암류와 퇴적암, 그리고 이를 관입한 불국사 화강암류와 그 위를 부정합으로 덮고 있는 제 4기 층적층으로 구성된다. 신동층군에 속하는 하산동층은 여수 반도의 북측 해안가에 소규모로 산출되는데 주로 ENE-WSW 방향으로 분포하며 우백색에서 담회색의 중립 혹은 조립 사암과 적색 이암의 교호층으로 이루어진다

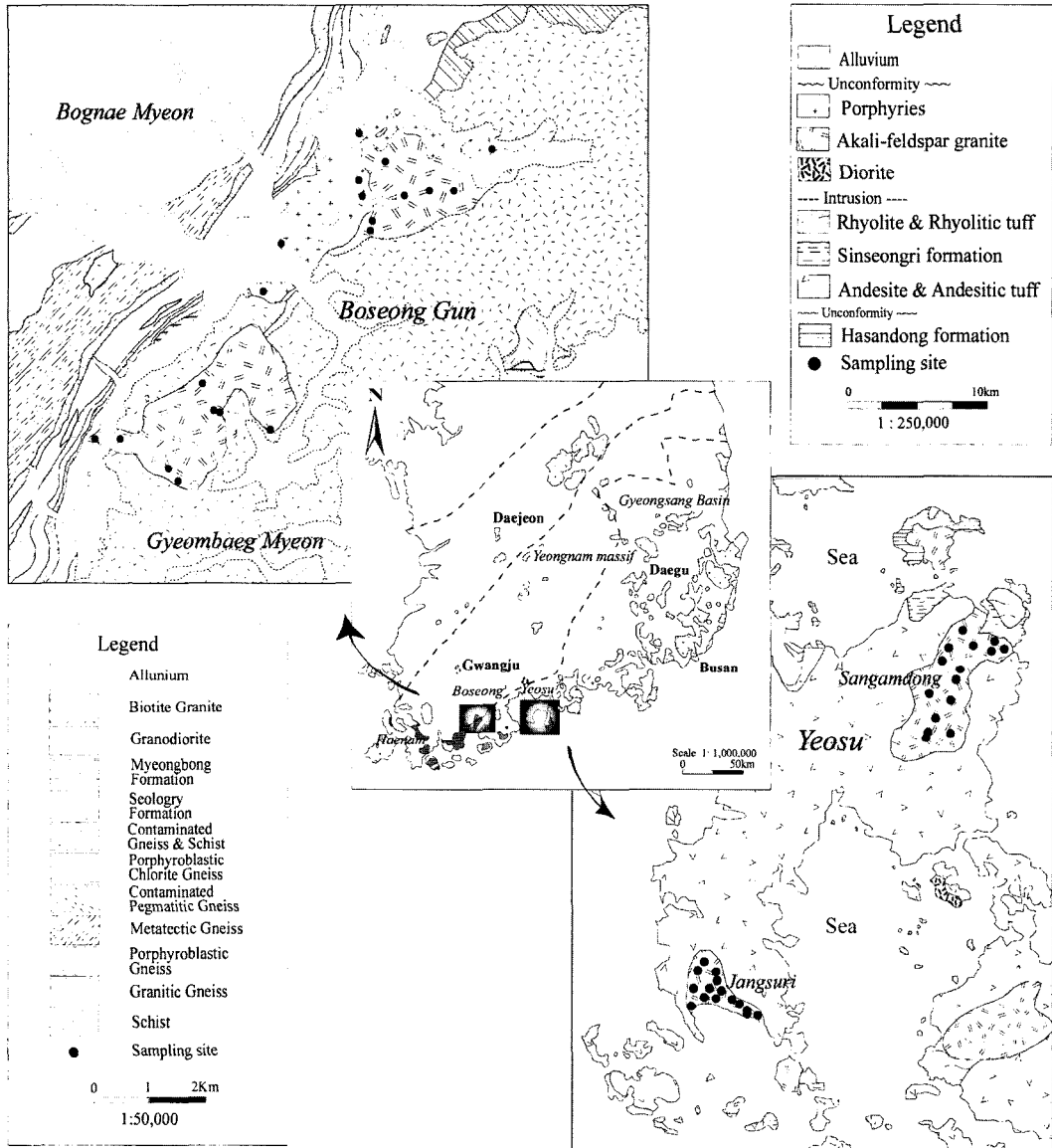


Fig. 1. Geological and sample locality maps for Yeosu and Boseong area.

(최범영 등, 2002).

유천층군은 여수반도 대부분의 지층을 이루는데 안산암 및 안산암질 응회암, 신성리층, 유문암 및 유문암질 응회암으로 구성된다(최범영 등, 2002). 이들은 하부로부터 응방산층, 신성리층, 봉화산 용결 응회암, 월내리 화산암으로 세분된다. 응방산층은 유천층군 중 안산암질암류의 분출과 관련되는 화산암 및 화산 쇄설암으로 고지를 제외한 전역에 산재되어 있으며 안산암과 소량의 안산 각력암으로 구성된다. 해안 저지대를 따라 노출된 안산암질 화산 각력암은 대체로 고도가 높

아짐에 따라 암괴의 함량과 크기가 감소하다가 안산암으로 이화됨을 볼 수 있다(장기홍 등, 1989). 신성리층은 본 역의 최북단에 분포하며 응방산층 위에 정합적으로 놓인다. 주로 응회암질 역암과 녹색 사암으로 구성되어 있으며 그 외 유문암 및 안산암이 협재되어 있다. 봉화산 용결 응회암은 여수반도의 북서쪽에서 화산력 응회암 및 유문암과 같이 산출된다. 화산력은 3cm미만으로 각종 화산암류로 구성되어 있고 조사지역의 남서부 서촌리 일대에서는 퇴적암이 협재되어 나타나며, 여수반도의 월내리 안산암은 이전의 '안산암

및 안산암질 응회암'과 층서적으로 다른 상위의 화산암으로서 최후기 화산활동의 산물로 보이며 관입체의 성격을 띤다(최범영 등, 2002).

연구지역의 화강암류는 후기 백악기 관입암류로서 알칼리장석 화강암이 있으며 이는 여수반도 북동부의 상암동과 호명동 일대, 남부의 장수리 일대에 분포하며 유천층군을 관입하고 있다. 실내 연구 결과 연구지역에 분포하는 알칼리장석 화강암은 각섬석-흑운모 화강암, 미문상화강암, 화강 섬록암으로 분류된다. 본 연구지역의 지질은 북동부는 남해 서상과 광양 도폭의 일부로 설명되어 있으나 전체적인 지질도는 아직 완성되지 않았으므로 앞으로 더 많은 야외 조사가 필요하다.

3. 암석기재

보성 지역은 화강섬록암이 주로 분포하며, 화강섬록암에 대한 모드 분석 결과를 석영-정장석-사장석(QAP)의 삼각도에 도시해보면 대부분 화강섬록암과 화강암, 토날라이트 영역에 점입된다(Fig. 2). 본 암의 주구성 광물은 사장석, 석영, 정장석, 흑운모, 각섬석이며, 녹니석, 견운모 자철석 등이 소량 관찰된다. 사장석은 자형 내지 반자형을 이루고 있고 누대구조와 알바이트 쌍정, 칼스바드 쌍정이 관찰되며, 변질에 의해 견운모와 교호하여 나타나기도 한다. 정장석은 반자형 내지 타형을 이루며, 대부분 심하게 변질을 받았으며, 미사장석이 관찰되기도 한다. 석영은 대부분 타형으로서 다른 광물 사이를 채우고 있으며, 일부는 파동 소광을 보인다. 유색광물로는 흑운모와 각섬석 등이 관찰된다. 흑운모는

자형 혹은 반자형으로 나타나며, 일부 녹니석화 된 부분이 나타난다. 각섬석은 반자형 내지 타형을 보여주며, 일부는 칼스바드 쌍정을 보여주는 것도 있다. 각섬석은 불투명 광물인 자철석과 수반되어 나타나는 것이 많고, 흑운모와 같이 녹니석에 의해 교대되어 나타나기도 한다.

여수 지역의 화강암체를 야외 산출상태 및 현미경 관찰에 의한 광물 조성 및 조직에 근거하여 각섬석-흑운모 화강암, 미문상화강암, 섬록암으로 구분하였다. 이들을 석영-정장석-사장석 삼각도(Fig. 2)에 도시해보면 섬록암은 대부분 석영-몬조섬록암, 석영-섬록암, 섬록암 영역에, 각섬석-흑운모 화강암은 화강암, 몬조니암, 화강섬록암 영역에, 그리고 미문상화강암은 화강암과 몬조니암 영역에 해당된다.

섬록암은 대부분 주상의 사장석과 소량의 석영과 정장석, 흑운모, 각섬석이 나타나며 견운모, 녹니석, 녹염석 등이 관찰된다. 사장석은 안데신에 속하며 자형으로 누대구조가 발달되어 있다. 일부 사장석은 포이킬리틱 조직을 보이며 포획된 광물은 흑운모, 인회석 등이다. 일부는 변질을 많이 받아 녹니석화 되거나 견운모화 되었으며, 노두 관찰 시 섬록암이 미문상화강암체 내에 포획되어 나타나기도 한다. 각섬석은 두 방향의 벽개가 뚜렷하며, 자형~반자형으로 관찰되고, 일부는 불투명 광물과 수반되어 나타난다. 흑운모는 일부가 녹니석화 되었다.

각섬석-흑운모 화강암은 조립 내지 중립질로서 유색 광물의 함유 정도에 따라 담회색 내지 회색을 띤다. 주 구성광물은 석영, 정장석, 사장석, 흑운모, 각섬석 등이며 소량의 지어콘과 불투명 광물을 수반한다. 석영은 일부 파동 소광을 보이며 석영과 장석이 밀메카이트 조직을 이룬다. 사장석은 칼스바드와 알바이트 쌍정, 누대구조가 뚜렷하게 나타나며 부분적으로 견운모화 되었다. 각섬석은 갈녹색의 주상 결정으로 쌍정을 이루기도 하며, 두 방향의 벽개가 뚜렷하게 발달한다. 흑운모는 일부가 녹니석화 되었다.

미문상화강암은 유색광물의 함량이 적어 우백질로 나타나고, 전체적으로 홍색을 띤다. 중립 내지 세립질 암으로 곳에 따라 사장석이 자형으로 발달하기도 한다. 주 구성광물은 석영, 사장석, 정장석, 각섬석 및 흑운모이며 견운모, 녹염석, 녹니석, 불투명 광물 등이 소량 함유되어 있다. 석영은 타형으로 파동소광을 나타내고 알칼리 장석과 함께 대부분 미문상 조직을 이룬다. 사장석은 누대구조와 쌍정이 뚜렷하게 관찰되고 일부는 견운모화 되었다. 흑운모는 녹니석화 되었으며 불

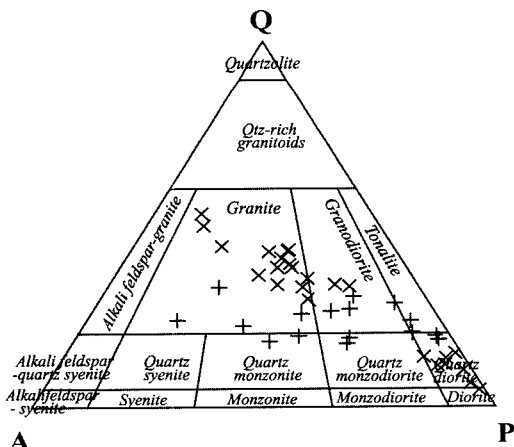


Fig. 2. Ternary diagram of modal Quartz-Alkali feldspar-Plagioclase of the granitic rocks from the Boseong (+) and Yeosu (x) area (Streckeisen, 1976).

투명 광물은 사장석이나 흑운모에 포획되어 나타난다. 현미경 관찰에 의하면 전체적으로 세리에이트 조직으로 입자의 크기가 다양하고 미문상 조직이 뚜렷하며, 정동 구조를 보이기도 한다.

4. 화강암류의 암석화학

본 연구 지역에 분포하는 백악기 화강암류의 암석화학 특성을 밝히기 위해 보성지역 20개, 여수지역 33개의 총 53개의 시료를 채취하여 신선한 36개의 시료를 선택하여 캐나다에 소재하는 Activation Lab.에 의뢰하여 주성분원소, 미량원소 및 희토류원소에 대해 분석을 실시하였다. 주성분원소와 몇 가지 미량원소(Ba, Sr, Y, Sc, Zr, Be, V)는 XRF를 사용하였고, 나머지 미량원소 및 희토류원소는 ICP-MS를 사용하여 분석하였다. 분석오차를 살펴보기 위해 몇 개의 국제 표준시료를 같이 분석하였으며, 주성분 원소의 분석 오차의 한계는 5%미만, Tb, Tm, Lu (<10%)을 제외한 대부분의 미량원소 및 희토류원소의 오차한계는 6%미만으로 나타났다. 한반도 남서부의 다른 지역과의 지화학적 특성을 비교하기 위해 기 발표된 자료를 인용하였으며, 이들 화강암류의 암석화학적 자료를 바탕으로 마그마의 특성과 분화 및 지구조적 환경을 논의하고자 한다.

4.1. 주성분원소

연구지역에 분포하는 화강암류에 대한 주성분원소의 화학분석 자료는 Table 1과 같고, 여수, 보성 지역의 화강암류를 분류하기 위하여 석영-정장석-사장석의 삼각도(Fig. 2)에 도시해보면 대부분 화강암, 화강섬록암 및 토날라이트에 점시된다. 본 연구지역 화강암류의 SiO₂ 함량의 범위는 해남(55.3~76.9%), 장흥(68.7~78.3%), 완도(73.7~77.5%), 영암(74.7~78.1%), 벌교(51.2~68.9%), 고흥(56.7~76.5%), 여수(51.8~74.0%), 보성(54.3~69.6%), 순천-광양(52.0~78.0%)으로 연구지역의 서부인 해남, 장흥, 완도, 영암 지역이 동부 지역보다 SiO₂ 함량이 더 높게 나타난다.

Harker의 성분분화도에 의한 산화물의 변화 경향을 살펴보면 SiO₂ 함량이 증가함에 따라 TiO₂, Al₂O₃, FeO, MnO, MgO, CaO, P₂O₅는 감소하고, K₂O, Na₂O는 점점 증가하는 일반적인 화강암류의 분화 경향과 유사하지만, 각 지역 화강암류의 분화에 따른 성분 변화 곡선의 기울기와 동일 SiO₂ 함량 범위 내에서 지역별 주성분원소의 함량의 차이는 이들 화강암류가

동원마그마의 기원이 아님을 보여준다(Fig. 3). 지역별 주성분원소의 함량을 동일 SiO₂ 함량 범위 내에서 비교했을 때, TiO₂ 함량은 여수, 벌교 지역이 높고, Fe₂O₃의 함량은 순천-광양, 여수 지역이 매우 높게 나타나며, MgO, K₂O 함량은 보성, 벌교 지역이 높고, P₂O₅와 Na₂O는 여수 지역이 더 높게 나타나고, FeO 함량은 순천-광양 지역이 더 낮게 나타난다.

주성분원소 함량을 Le Maitre(1976)의 화강암류의 세계 평균값과 비교해 보았을 때 Na₂O 함량의 경우 동부(2.81~4.12 wt.%)와 서부 지역(3.75~3.93 wt.%)이 세계 평균값(3.68 wt.%)과 유사하거나 약간 높고, SiO₂와 K₂O의 함량은 평균값인 71.30 wt.%와 4.07 wt.%보다 서부 지역은 더 높게, 동부 지역은 더 낮게 나타났으며, 나머지 산화물들의 값은 거의 동부 지역의 함량이 훨씬 더 높게 나타났다. 이렇게 주성분원소의 함량이 동부, 서부 지역에서 뚜렷하게 다르게 나타나는 것으로 보아 서부 지역이 더 분화된 마그마의 산물이라는 것을 알 수 있다.

4.2. 미량원소 및 희토류원소

일부 미량원소는 특정 조암광물에 대한 선택적 지환성 때문에 마그마의 분화정도에 따라 암석 내에 이들의 함량의 차이가 나타난다. 연구 지역에 분포하는 화강암류에 대한 미량원소 및 희토류원소의 화학 분석 값은 Table 2와 같고, SiO₂ 함량에 따른 미량원소의 변화도는 Fig. 4에 나와 있다. 지역에 따른 미량원소 함량의 차이를 비교하기 위해 연구 지역을 해남, 완도, 영암, 장흥의 서부 지역과 벌교, 고흥, 보성, 여수, 순천-광양의 동부 지역으로 분류하였으며, 본 역 화강암류에 대한 미량원소들의 평균 함량을 Taylor (1965)가 제안한 화강암의 평균치와 비교하였으며, 미량원소들의 특성에 따라 친석원소, 친동원소, 철·마그네슘계열의 원소와 희토류원소 및 HFS (High Field Strength) 원소들을 구분하여 논하였다.

4.2.1. 친석원소 (Ba, Rb, Sr, Li)

Ba의 평균 함량은 여수 703 ppm, 보성 611 ppm으로 Taylor (1965)가 제안한 화강암류의 평균함량(600 ppm)보다 더 부화된 값을 갖으며 다른 지역들 또한 영암, 순천-광양 지역을 제외하고는 대체적으로 화강암류의 평균 함량보다 더 부화되어 있다. SiO₂ 함량이 증가함에 따라 Ba의 함량이 점점 증가하다가, SiO₂ 함량이 75% 이상이 되면 감소하는 부(-)의 상관관계를 보여준다. Rb의 평균 함량은 여수 75 ppm,

보성 140 ppm으로 화강암 평균치인 150 ppm보다 약간 결여되어있다. 특히 연구 지역의 동부 암체에는 Rb가 화강암 평균치보다 결여되어 있으나 점차 서부 암체로 갈수록 Rb 함량이 증가하여 평균값과 유사한 값

을 가지며 분화가 진행됨에 따라 Rb 함량이 점점 증가하는 상관관계를 보여준다. Sr의 평균 함량은 여수 314 ppm, 보성 1095 ppm으로 화강암류의 평균 함량(285 ppm)보다 더 부화된 값을 갖으며, 서부에서 동부

Table 1. Major element data and modal analyses for Cretaceous granitic rocks from Yeosu and Boseung area.

Sample	YC1	YC3	YC4	YC5	YC6	YC9	YC10	YC11	YC12	YC13	YC14	YC15	YC16	YC17	YC19	YC21	YC22	YC23
SiO ₂	71.12	66.05	67.46	64.82	62.24	71.31	71.56	63.34	61.43	66.30	63.38	57.14	67.43	74.01	73.03	62.20	60.43	64.10
TiO ₂	0.36	0.49	0.47	0.57	0.65	0.36	0.35	0.77	0.93	0.67	0.95	1.02	0.57	0.30	0.35	0.94	0.92	0.84
Al ₂ O ₃	13.94	15.25	15.00	15.77	15.93	13.91	13.85	15.38	15.05	15.57	15.55	15.82	15.80	13.29	13.46	16.82	15.84	16.49
Fe ₂ O ₃	1.83	2.25	2.06	1.08	2.97	0.95	0.48	0.94	0.70	1.58	2.28	4.18	1.85	1.28	0.88	2.91	1.14	2.83
FeO	1.34	2.26	2.01	3.50	2.85	1.67	2.10	4.12	4.73	2.26	2.62	4.10	1.30	1.30	1.67	2.46	5.46	1.65
MnO	0.06	0.08	0.07	0.10	0.12	0.07	0.06	0.12	0.17	0.14	0.19	0.16	0.07	0.07	0.09	0.13	0.16	0.10
MgO	0.38	1.02	1.04	1.32	1.74	0.63	0.65	1.56	1.39	0.88	1.61	2.90	0.66	0.31	0.39	1.55	2.02	1.39
CaO	1.31	3.30	3.15	3.67	4.50	1.83	2.00	3.70	3.05	2.34	3.35	4.07	1.57	0.99	1.19	4.18	4.64	3.66
Na ₂ O	5.13	4.50	3.98	4.27	4.14	4.21	3.86	4.66	4.84	4.91	4.78	4.62	5.38	4.24	4.27	4.97	4.57	5.05
K ₂ O	3.22	2.57	3.02	2.54	2.13	3.30	3.76	2.48	2.91	3.01	2.51	2.17	3.10	3.93	3.76	1.67	2.08	2.16
P ₂ O ₅	0.08	0.14	0.14	0.19	0.23	0.09	0.10	0.30	0.33	0.17	0.35	0.34	0.12	0.06	0.07	0.32	0.46	0.29
Total	98.76	97.91	98.39	97.83	97.50	98.33	98.77	97.37	95.52	97.82	97.57	96.52	97.86	99.78	99.15	98.15	97.72	98.56
Qz		28.24	24.34			47.60	31.47						3.48	27.34		5.54	8.96	11.84
Kf		21.68	20.92			31.84	19.50						0.93	26.92		1.76	4.41	0.85
Pl		36.34	37.08			14.73	36.04						71.10	31.34		77.27	66.60	68.15
Cpx	-	-				-	-						0.13	-		0.06	0.12	0.07
Hb		1.28	6.30			1.13	0.55						4.58	1.52		4.87	3.52	1.51
Bt		4.09	8.09			1.81	4.11						5.91	0.55		3.59	7.62	5.81
Epi		0.72	0.28			0.34	0.58						1.88	1.57		0.27	1.10	2.46
Chl		4.61	0.62			1.57	3.45						7.29	6.02		1.12	2.91	5.70
Sr		1.20	0.28			0.75	1.77						1.90	1.52		0.37	0.77	0.48
q		1.84	2.10			0.23	2.54						2.79	3.21		5.15	3.99	3.13

Sample	YC24	YC25	YC26	YC27	YS2	YS3	YS5	BS1	BS2	BS3	BS4	BS7	BS9	BS10	BS13	BS15	BS17	BS18
SiO ₂	71.55	71.18	52.58	51.82	70.95	70.70	71.89	57.79	69.58	62.16	61.84	60.53	61.47	60.07	58.88	56.04	58.78	54.27
TiO ₂	0.40	0.40	0.88	0.74	0.36	0.39	0.32	1.00	0.36	0.85	0.77	0.70	0.62	0.71	0.70	0.78	0.63	1.23
Al ₂ O ₃	13.60	14.46	17.42	16.77	13.81	14.03	13.89	16.46	14.65	16.19	16.26	14.61	15.15	15.57	15.27	13.78	15.39	17.29
Fe ₂ O ₃	0.71	1.78	4.20	3.70	1.53	1.37	*	2.80	0.80	0.98	1.67	1.87	0.63	0.61	1.15	1.84	1.40	3.37
FeO	2.04	1.24	5.14	5.40	1.83	2.25	2.66	4.72	1.86	4.74	3.40	3.59	3.88	5.15	4.57	4.98	4.17	4.63
MnO	0.09	0.08	0.15	0.16	0.06	0.07	0.03	0.11	0.02	0.02	0.08	0.07	0.06	0.07	0.07	0.09	0.07	0.11
MgO	0.46	0.59	4.56	5.78	0.68	0.49	0.49	3.36	0.80	1.27	1.20	4.70	4.34	4.12	5.30	6.71	5.09	2.99
CaO	0.99	1.80	7.76	8.38	1.80	1.61	1.57	6.31	0.22	4.10	3.50	4.36	4.48	4.62	5.18	5.94	4.64	6.69
Na ₂ O	4.58	3.83	3.28	2.62	3.82	5.57	4.03	3.23	3.44	3.71	3.73	3.10	3.34	2.90	2.74	2.97	3.41	3.20
K ₂ O	3.68	3.57	0.84	1.08	3.58	2.45	3.73	2.63	5.01	3.51	3.91	4.09	3.85	3.14	4.17	3.61	3.58	2.30
P ₂ O ₅	0.07	0.17	0.22	0.15	0.10	0.09	0.09	0.26	0.12	0.31	0.27	0.25	0.20	0.23	0.23	0.30	0.23	0.39
Total	98.16	99.10	97.03	96.60	98.51	99.02	98.70	98.66	96.86	97.83	96.63	97.87	98.02	97.20	98.26	97.04	97.39	96.47
Qz	41.51		10.54	10.47	40.15			18.20	28.20	15.10	17.80	22.70	17.80	17.30	21.83	12.20	16.50	13.50
Kf	34.44		2.87	6.42	19.52			5.10	38.92	33.20	35.08	11.60	20.20	6.50	20.10	16.50	15.50	15.40
Pl	18.48		63.89	59.93	29.61			54.00	20.80	35.80	27.28	41.50	31.60	60.80	45.00	42.00	45.30	41.90
Cpx	-		0.25	0.22	-			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hb	0.44		5.08	4.29	4.44			6.00	-	2.10	3.60	2.20	8.90	6.50	4.30	16.30	3.80	5.20
Bt	0.64		8.69	7.99	3.32			9.20	2.30	4.50	9.10	17.30	12.40	4.70	3.90	4.30	12.60	9.00
Epi	0.64		1.73	2.21	0.24			-	-	-	1.00	-	5.41	-	1.60	-	-	3.10
Chl	1.23		4.00	4.21	0.66			5.90	7.50	6.90	2.60	4.70	2.40	4.10	2.80	8.70	4.90	7.70
Sr	0.44		0.52	0.80	0.52			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oq	2.17		2.42	3.45	1.54			1.10	2.30	2.40	4.00	-	1.10	-	0.50	-	1.30	4.10

Qz: Quartz, Kf: Alkali feldspar, Pl: Plagioclase, Cpx: Clinopyroxene, Hb: Hornblende, Bt: Biotite, Epi: Epidote, Chl: Chlorite, Sr: Sericite, Oq: Opaque mineral.

암체로 갈수록 Sr의 함량이 점차 증가하는 경향을 보인다. SiO₂ 함량이 증가함에 따라 Sr 함량이 점점 감

소하는 관계를 보여준다. Li의 평균 함량은 여수 22.9 ppm으로 화강암류의 평균함량(38 ppm)보다 다소 결여

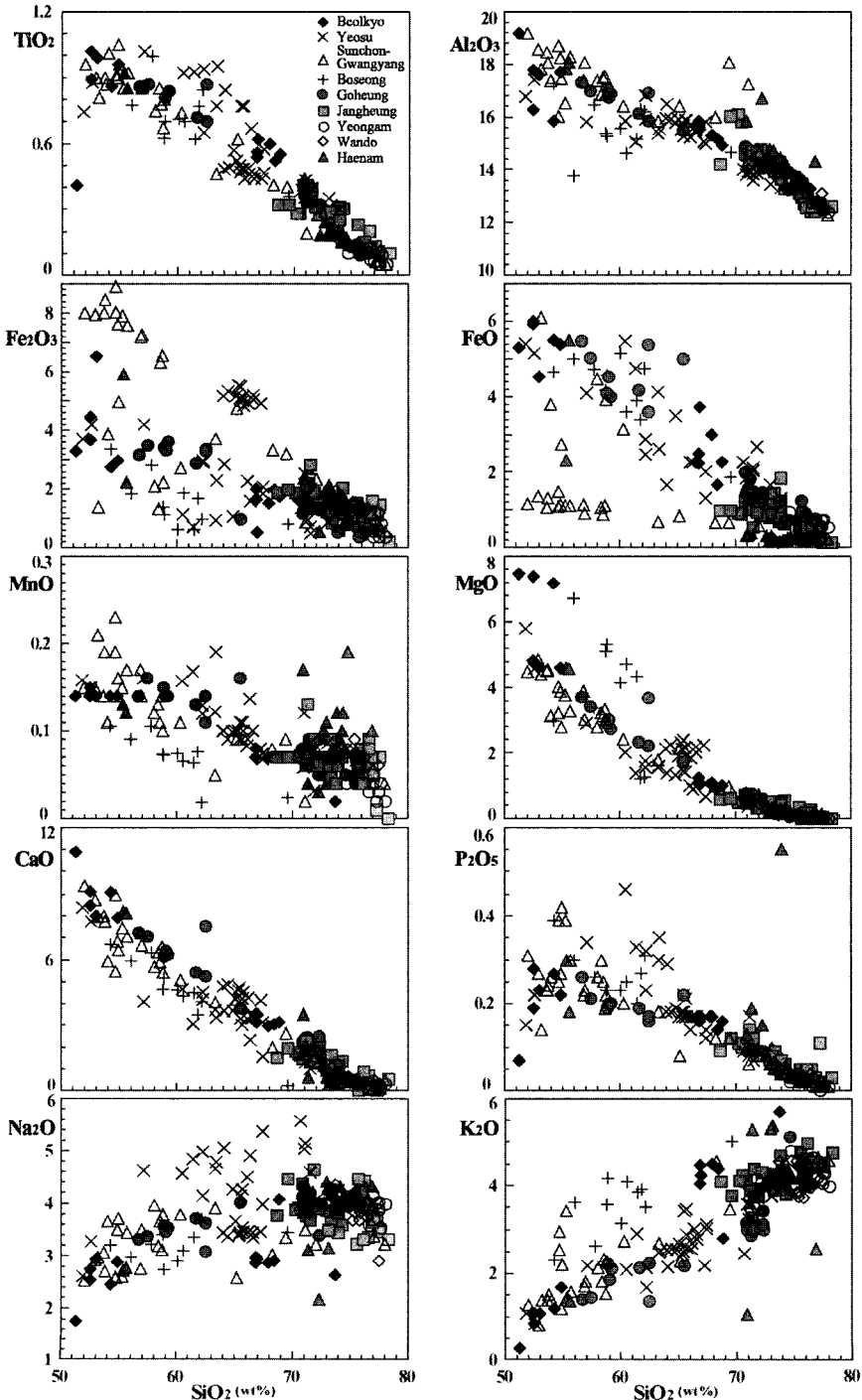


Fig. 3. Harker diagrams of major elements for the granitic rocks in the study area (unit in wt%). Symbols: Yeosu(×), Boseong(+), Goheung(●), Beolkyo(◆), Sunchon-Gwangyang(△), Haenam(▲), Wando(◇), Yeongam(○), Jangheung(■).

되어있으며, 동부에서 서부 암체로 갈수록 화강암류의 평균 함량에 비해 더 심하게 결여되어 있다. 분화가 진행될수록 Li의 함량은 점점 증가하다가 분화 말기에 감소하는 경향을 보인다.

4.2.2. 친동원소 (Cu, Zn)

Cu의 평균 함량은 여수 38.2 ppm, 보성 37 ppm으로 Taylor(1965)가 제안한 화강암류의 평균 함량(10 ppm)보다 훨씬 더 부화된 값을 보여주며, 특히 고흡과

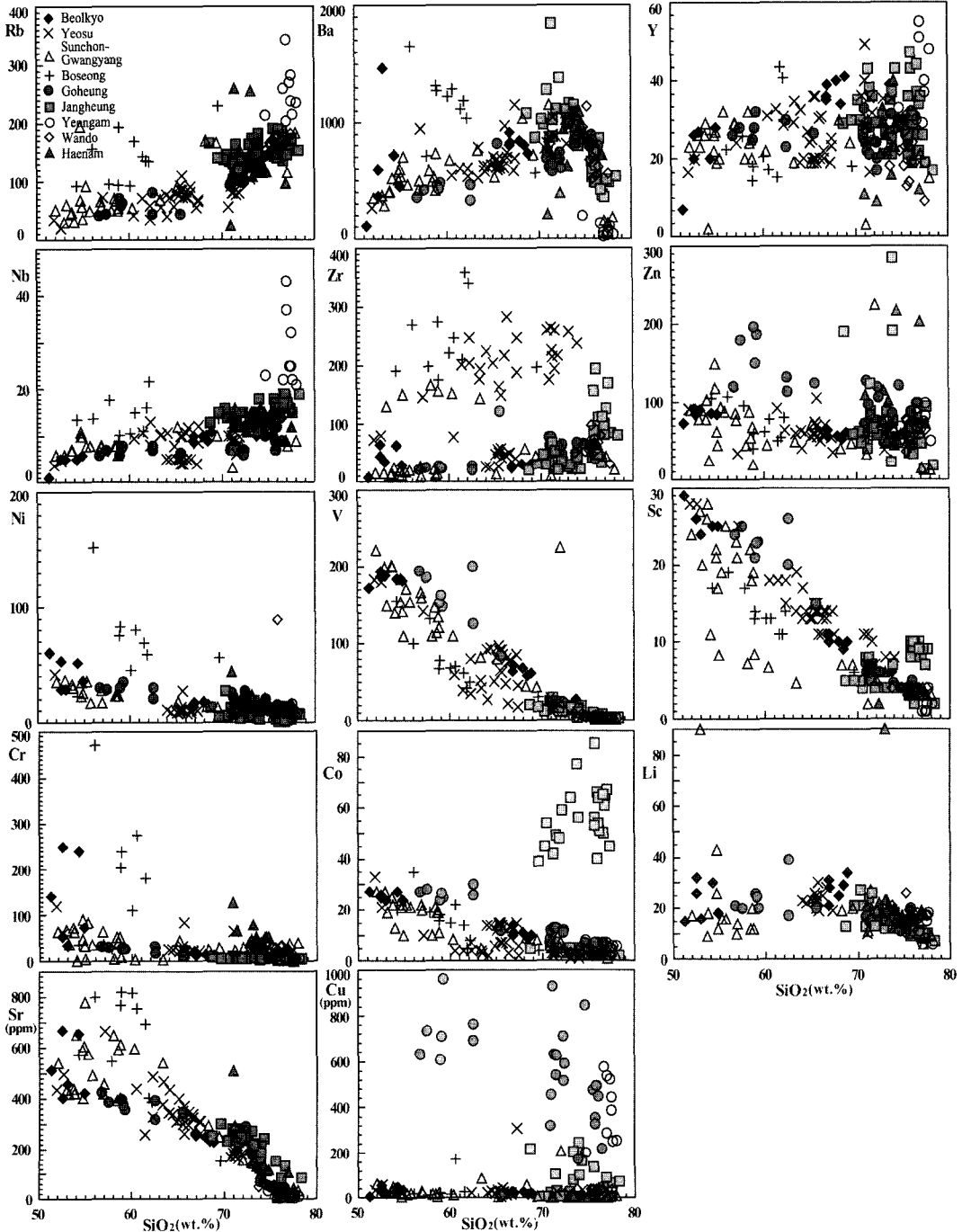


Fig. 4. Trace element variation diagrams of the granitic rocks in the study area (unit in ppm). Symbols are the same as in Fig. 3.

영암 지역의 경우 화강암류의 평균 함량에 비해 약 50 배~30배 정도 부화된 값을 보여준다. 마그마 분화가 진행됨에 따라 Cu 함량이 대부분 정(+)²의 상관관계를 보이거나 고흥 지역의 경우 불규칙한 거동을 보여준다 (Fig. 4). Zn의 평균 함량은 여수 102 ppm, 보성 74

ppm으로 화강암류의 평균함량(40 ppm)보다 훨씬 더 부화된 값을 보여주며, 연구 지역에서 전체적으로 부화된 값을 보여준다. 분화가 진행됨에 따라 약한 부(-)²의 상관관계를 보여준다.

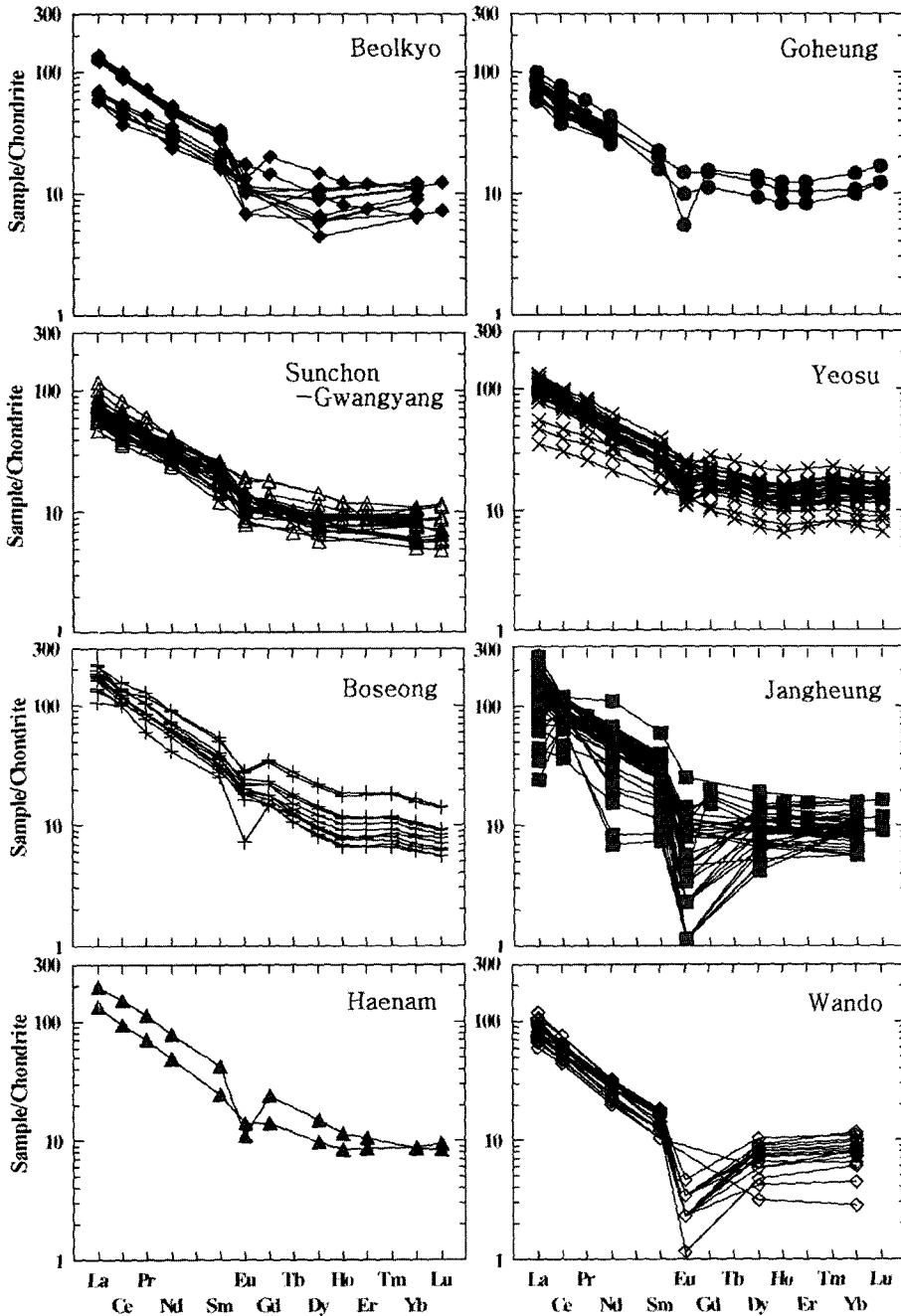


Fig. 5. Chondrite-normalized REE patterns of the granitic rocks in the study area. Normalizing factors after Sun and McDonough (1989). Symbols are the same as in Fig. 3.

4.2.3. 철·마그네슘계열 원소(Co, V, Sc)

Co의 평균 함량은 여수 8.34 ppm, 보성 16 ppm으로 Taylor (1965)가 제안한 화강암류의 평균함량(1 ppm)보다 훨씬 더 부화된 값을 보여주며, 서부에서 동부 지역으로 갈수록 대체로 Co의 평균 함량이 증가하는 경향을 보인다. 장흥 지역을 제외하고는 분화가 진행됨에 따라 부(-)의 관계를 보여준다. V의 평균 함량은 여수 61.8 ppm, 보성 77.5 ppm으로 화강암류의 평균 함량(20 ppm)보다 훨씬 더 부화된 값을 보여주며, 동부 지역의 함량이 58.1~128ppm으로 서부 지역보다 더 부화되어 있다. 분화가 진행될수록 V함량은 뚜렷한 부(-)의 관계를 나타낸다. Sc의 평균 함량은 여수 13.5 ppm, 보성 13.5 ppm으로 화강암류의 평균 함량(5 ppm)보다 훨씬 더 부화된 값을 보여주며, 서부 지역보다 동부 지역에 더 부화되어 있다. 분화가 진행됨에 따라 Sc의 함량은 부(-)의 관계를 나타낸다.

4.2.4. HFS (High Field Strength-Nb, Zr, Y) 원소

Nb의 평균 함량은 여수 8.41 ppm, 보성 13.9 ppm으로 Taylor(1965)가 제안한 화강암류의 평균 함량(20 ppm)보다 결여되어 있으며, 서부 지역이 동부 지역보다 상대적으로 더 부화되어 나타난다. Nb vs. SiO₂ 상관도에서 SiO₂ 함량이 증가함에 따라 Nb 함량도 증가하는 경향을 보인다. Zr의 평균 함량은 여수 149 ppm, 보성 244 ppm으로 해남 등 다른 연구 지역에 비해 상대적으로 매우 부화되어 있으나 여수 지역은 화강암류의 평균 함량(180 ppm)보다 결여되어 있다. SiO₂ 함량이 증가함에 따라 Zr 함량도 증가하는 경향을 보인다. Y의 평균 함량은 여수 27.4 ppm, 보성 23.8 ppm으로 화강암류의 평균 함량(40 ppm)보다 결핍되어 있으며, 또한 연구 지역 내의 평균 Y 함량이 20.9~38 ppm으로 동부 지역과 서부 지역 모두 Taylor의 평균값보다 결핍되어 있다. SiO₂가 증가함에 따라 Y의 함량은 점점 증가하다가 SiO₂ 함량 75% 이상에서는 감소하는 경향을 보인다.

4.2.5. 희토류원소

이 지역 화강암류들의 희토류원소 성분 변화를 콘드라이트 값으로 표준화하여 나타낸 희토류원소의 경향은 대부분의 지역에서 경희토류원소(LREE)가 부화되어 나타나며, 고흥 지역은 다른 지역 화강암류에 비해 상대적으로 중희토류원소(HREE)가 약간 부화되어 나타나는 경향이 있으나 전체적으로 본 연구 지역 희토류원소의 패턴은 화강암질암의 전형적인 패턴임을 알

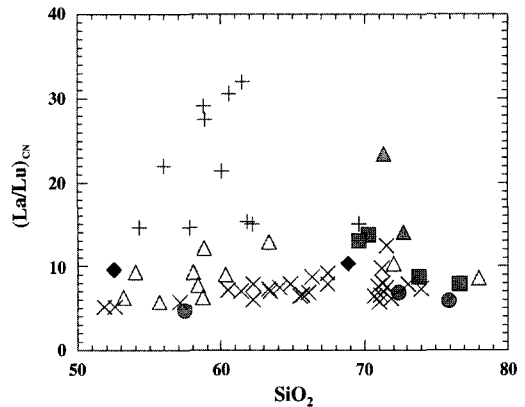


Fig. 6. $(La/Lu)_{CN}$ vs. SiO_2 (unit in wt.%) variation diagram of the granitic rocks. Symbols are the same as in Fig. 3.

수 있다(Fig. 5).

본 연구 지역의 경우 대부분의 지역에서 Eu(-) 이상이 나타나며, 특히 SiO₂ 함량이 높은 장흥, 완도 지역, 즉 일반적으로 서부 지역에서 Eu(-) 이상이 더 뚜렷하게 나타난다. SiO₂ 함량이 증가함에 따라 Sr의 함량이 감소하는 현상과 일치하는 것으로 보아 Eu(-) 이상은 사장석의 분별 결정 작용의 결과로 해석할 수 있다. 반면에 순천-광양, 여수 지역은 Eu(-)이상이 매우 작게 나타나거나 거의 일직선으로 나타나는 것으로 보아 이 지역의 암체들은 사장석에 의한 분별 정출의 영향이 매우 적었음을 시사하며, 장흥, 완도 지역의 화강암류들이 분화가 더 진전되었음을 나타낸다. 보성 암체의 경우 SiO₂ 함량이 증가함에 따라 $(La/Lu)_{CN}$ 비율이 연속적으로 증가하고, 다른 지역들은 분화가 진행됨에 따라 일정한 값을 나타낸다(Fig. 6).

5. 화강암류의 성인

5.1. 지역별 지화학적 특성

연구 지역의 암체들을 주성분 원소와 미량원소 함량 및 그 특성에 따라 크게 동부(별고, 고흥, 여수, 보성, 순천-광양)와 서부(해남, 장흥, 완도, 영암) 지역의 두 그룹으로 분류해 볼 수 있다. SiO₂ 함량을 살펴보면 동부 지역 암체의 경우 평균 함량이 별고 61.4%, 고흥 69.2%, 여수 66%, 보성 60.1%, 순천-광양 60.2%이며, 서부 지역 암체의 경우는 해남 72%, 장흥 74.5%, 완도 75.6%, 영암 77%로 서부 지역이 동부 지역보다 더 부화된 경향이 나타남을 확인할 수 있다. 두 지역 모두 분화가 진행됨에 따라 FeO^T/MgO , Fe_2O_3/FeO 비, 총 알칼리(Na_2O+K_2O)함량은 점차적으

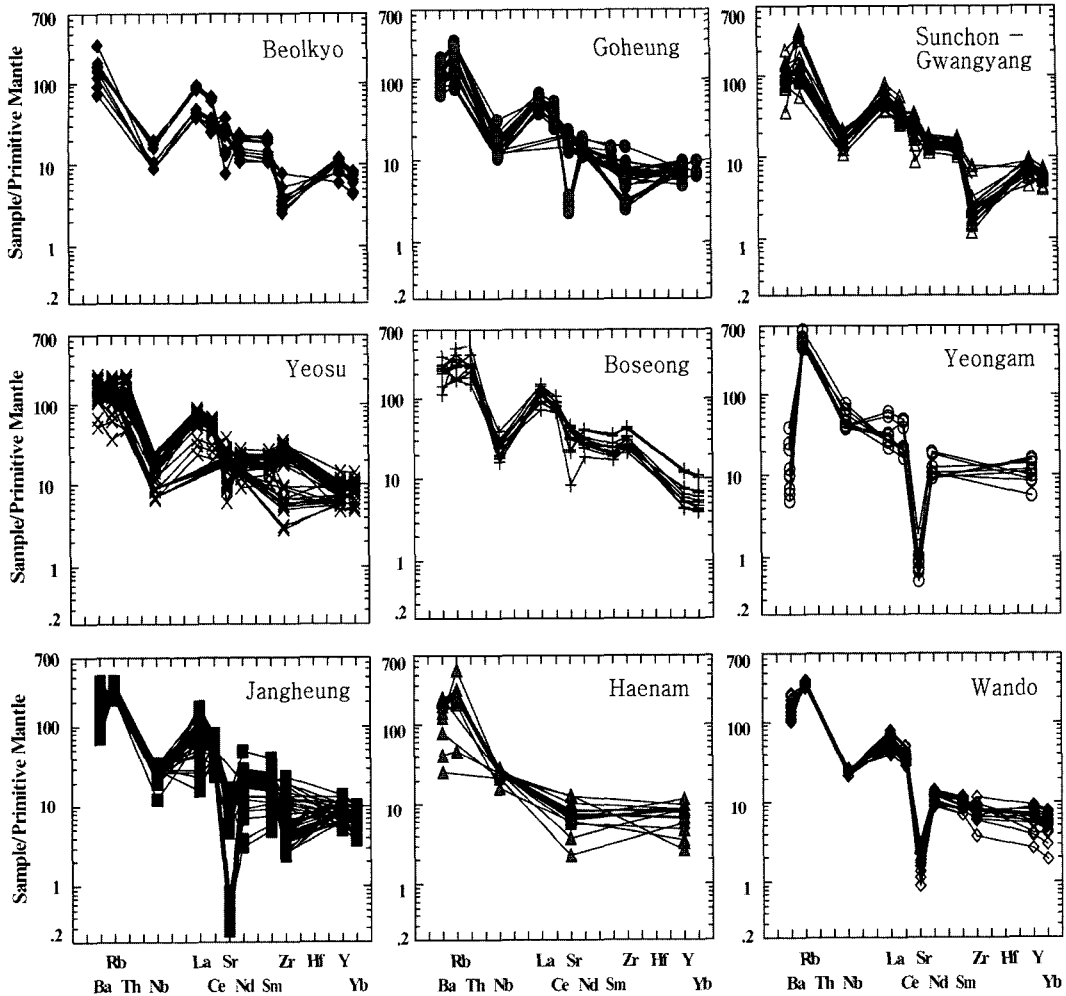


Fig. 7. Primitive mantle-normalized trace element abundance patterns of the granitic rocks in the study area. Normalization factors after Sun and McDonough (1989). Symbols are the same as in Fig. 3.

로 증가하며, 특히 SiO_2 함량이 74% 이상, 즉 분화가 많이 된 서부 지역의 암체들의 경우 FeO^T/MgO , $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 비가 더 급격히 증가하는 경향을 보인다.

동부 지역과 서부 지역 미량원소들의 함량에도 차이가 나타난다. 서부 지역 암체들은 동부 지역 암체들에 비해 Rb, Nb 함량은 더 높게 나타나고, Li, Ni, Co, Sr, Cr, V, Sc 등의 함량은 더 낮게 나타나는 경향이 있다. 또 Spider diagram(Fig. 7)을 보면, 서부 지역 암체들의 경우 Sr의 (-)이상이 매우 깊게 나타나며, 이는 REE 패턴(Fig. 5)에서 Eu(-)이상이 서부 지역에서 더 뚜렷하게 나타나는 것과 일치하며, 이것으로 보아 동부 지역보다 서부 지역 암체에서 사장석의 분별이 상대적으로 더 심하게 일어났음을 알 수 있다.

5.2. 마그마의 유형과 특성

본 연구 지역에서 나타나는 화강암류들의 마그마의 근원 물질을 알아보기 위해 ANK vs. ACNK 상관도(Fig. 8)에 도시한 결과 대부분 암체들의 ACNK 값이 1.1보다 작은 I-Type으로 나타났으며(White and Chappell, 1983), 이것은 Jin *et al.*(1981)에 의한 남한의 백악기 화강암류의 마그마 유형과도 잘 일치한다. 주성분 원소의 화학 조성을 바탕으로 연구 지역 화강암류를 생성시킨 마그마의 특성을 알아보기 위해 SiO_2 vs. $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 의 상관도(Irvine and Barager, 1971)에 도시해본 결과, 연구 지역 대부분의 암체들이 subalkaline 화성암류에 해당되며, AFM도에 도시했을 때 대부분이 calc-alkaline 마그마 분화의 특징을 보여 주며, 분화가 진행됨에 따라 마그마의 특성이 metaluminous에서

peraluminous한 쪽으로 진행됨을 알 수 있다.

마그마의 분화와 밀접한 관계가 있는 Ba/Sr의 평균 비는 여수 4.96, 보성 3.81, 벌교 2.52, 순천-광양 3.01, 고흥 6.93, 영암 9.66, 완도는 23.4, 장흥 32.2로 나타나 장흥, 완도지역 즉, 서부 지역이 분화가 더 많이 진행된 마그마의 산물임을 알 수 있다. Rb-Sr-Ba 삼각도(Bouseily and Sokkary, 1975)에서 고흥, 여수, 순천-광양, 보성 지역은 Rb보다 Sr, Ba가 더 부화된 화강섬록암에 속하고, 해남, 완도, 장흥 지역은 Ba가 상대적으로 더 부화되어있으며, 영암 지역의 경우 Rb가 농집된 분화가 잘 진행된 화강암에 해당된다(Fig. 9).

미량원소들을 Primitive mantle에 표준화하였을 때

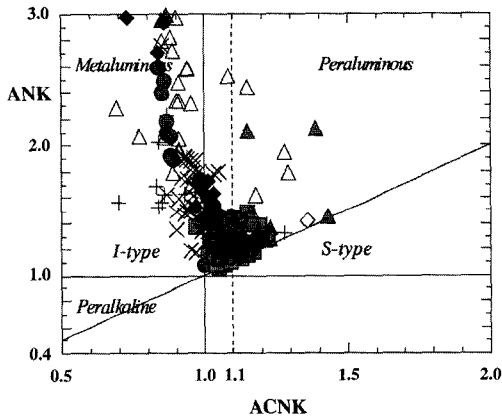


Fig. 8. Molar ANK $[Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)]$ vs. ACNK $[Al_2O_3/(Na_2O+K_2O+CaO)]$ variation diagram (Maniar and Piccoli, 1989). Symbols are the same as in Fig. 3.

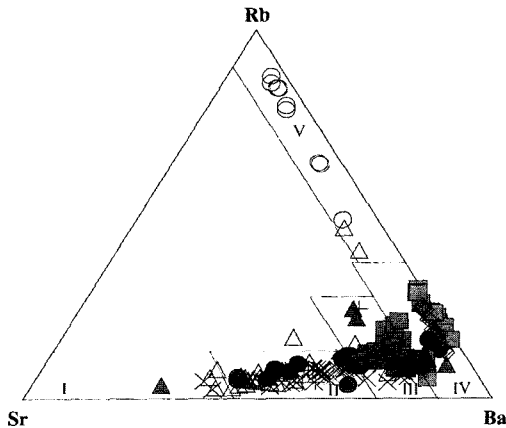


Fig. 9. Rb-Sr-Ba triangular diagram of the granitic rocks in the study area (Bouseily and Sokkary, 1975). I; diortites, II; granodiorites and quartz diorites, III; anomalous granites, IV; noraml granites, V; highly differentiated granites. Symbols are the same as in Fig. 3.

뚜렷한 Nb(-)이상이 나타나는 것으로 보아 섭입과 관련된 마그마 활동에 의해 형성되었으며(Ryerson and Watson, 1987), 서부 지역 암체의 경우 주변 원소들에 비해 Sr이 매우 결여되어 나타나는 것으로 보아 사장석의 분별정출이 있었음을 알 수 있다.

화강암류에 대한 희토류원소의 총합량(ΣREE)과 경 희토류에 대한 중희토류의 상대적인 비($(La/Lu)_{CN}$)를 지시하는 값은 장흥(185~235 ppm, 10.85), 해남(203~314 ppm, 18.76), 벌교(128~212 ppm, 9.97), 고흥(118~173 ppm, 5.87), 여수(76.2~235 ppm, 7.34), 보성(192~331 ppm, 21.56), 순천-광양(103~180 ppm, 8.87)로 나타나며, 대부분의 지역이 대륙 또는 대륙 연변부 환경의 값인 희토류 원소 총합량 60~499 ppm, $(La/Lu)_{CN}$ 8.9~66 범위 내에 해당됨을 알 수 있다. 따라서 본 연구 지역의 암체들은 대륙이나 그 주변부의 구조적 환경에서 형성된 화강암류에 속한다(Culler and Graf, 1984).

5.3. 지구조적 환경

화강암을 이루는 화학조성의 특성을 근거로 화강암의 마그마 작용과 관련한 지구조적 환경을 규명하려는 연구가 활발히 이루어져 왔다(Iddings, 1982; Pearce *et al.*, 1984). Petro *et al.* (1979)은 calc-alkaline 지수가 60~64인 peraluminous ($Al_2O_3 > Na_2O + K_2O + CaO$) 화강암은 압축장 환경 (compressional tectonic setting)에서 생성되고, calc-alkaline 지수가 50~56인 peralkaline ($Al_2O_3 < Na_2O + K_2O$) 화강암은 신장장 환경 (extensional tectonic setting)에서 생성된다고 하였다. 그러나 주성분 원소에 의해 지구조적 환경을 구분하는 것은 일반적으로 몇 개의 변수에만 의존하기 때문에 그 분별도가 낮아서 미량원소의 거동이 중요하게 이용된다(Pearce *et al.*, 1984).

Pearce *et al.* (1984)은 화강암질암을 미량원소의 거동을 이용하여 ORG (Oceanic Ridge Granite), VAG (Volcanic Arc Granite), WPG (Within Plate Granite), syn-COLG (syn-Collision Granite)의 4가지로 구분하였다. 본 연구지역에 분포하는 화강암류들의 지화학적 특성을 이용하여 화강암질 마그마의 생성 환경을 알아보기 위해 지구조 판별도에 제시해본 결과, Y vs. Nb 상관도(Fig. 10(a))를 보면 본 연구 지역의 화강암류들이 대부분 VAG+syn-COLG에 도시되며, Rb vs. Y+Nb 상관도(Fig. 10(b))에서는 VAG 영역에 도시된다. 위와 같이 미량원소에 의한 암석학적 특성에 따라 본 연구 지역 화강암류의 마그마 관입의 지구조적 환경은 영암

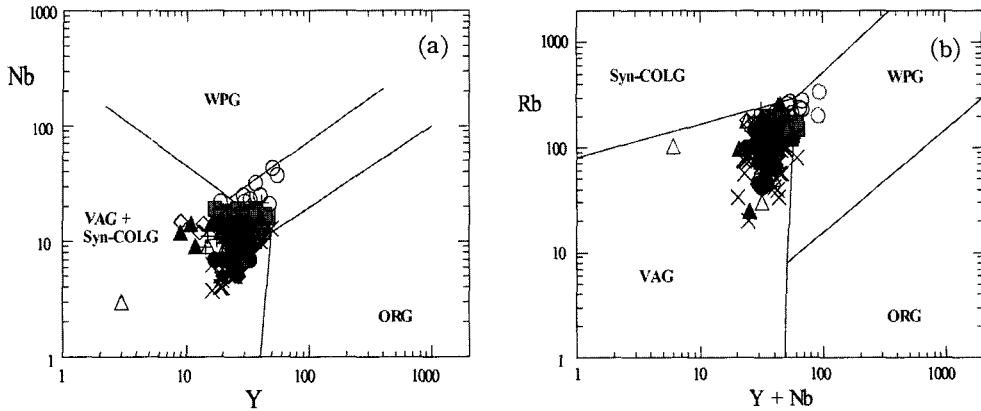


Fig. 10. Nb vs. Y discrimination diagram (a) and Rb vs. Y+Nb discrimination diagram (b) for the granitic rocks in the study area (Pearce et al., 1984). Symbols are the same as in Fig. 3.

지역의 경우 약간 WPG에 치우치는 경향이 있으나 대부분의 암체들이 중생대 백악기 고태평양(proto-Pacific) 판의 섭입과 관련되어 관입한 대륙주변부 환경 하에서 형성되었음을 시사한다.

6. 결 론

연구 지역에 분포하는 화강암류에 대한 주성분원소, 미량원소 및 희토류원소에 대한 지화학적 특징은 다음과 같다.

1. 한반도 남서부 여수, 보성 일대 화강암류는 모드 분석에 의하면 주로 화강암, 화강섬록암, 토날라이트에 해당되며, 기 발간된 여수지역의 지질도에 나타나 있는 알칼리장석 화강암은 각섬석-흑운모 화강암, 미문상 화강암 및 화강섬록암으로 분류된다.

2. 한반도 남서부 일대의 백악기 화강암류들은 calc-alkaline 계열의 분화 과정을 거친 I-Type 화강암류이며, 마그마의 특성이 metaluminous에서 분화가 진행됨에 따라 peraluminous한 쪽으로 진행됨을 알 수 있다. 지구조 관별도에 짐시해본 결과 VAG, syn-COLG영역에 해당되며, 대부분의 암체들은 중생대 백악기 고태평양 판의 섭입과 관련되어 관입한 대륙주변부 환경에서 생성되었음을 시사한다.

3. Harker의 성분변화도에 의한 산화물의 변화 경향을 살펴보면 일반적인 화강암류의 분화 경향과 유사하지만, 각 지역 화강암류의 분화에 따른 성분 변화 곡선의 기울기와 동일 SiO₂ 함량 범위 내에서 지역별 주성분원소의 함량의 차이가 나타나는 것으로 보아 이들 화강암류가 동원마그마의 기원이 아님을 알 수 있다.

4. 본 역의 미량원소들은 상대적으로 친석원소가 부

화되어 있으며, 화강암류의 세계 평균값과 비교했을 때 철-마그네슘 계열 원소들이 상당히 부화되어 나타난다. 희토류원소는 모두 LREE가 HREE보다 부화되어 화강암류의 전형적인 패턴과 일치하며, 서부 지역이 동부 지역보다 더 뚜렷한 Eu(-)이상을 갖는다.

5. 연구 지역의 암체들은 지화학적 특성에 따라 해남, 완도, 영암, 장흥 지역의 서부 암체와 별교, 보성, 여수, 고흥, 순천-광양 지역의 동부 암체로 분류할 수 있으며, 특히 동부 지역의 경우 SiO₂, K₂O, Na₂O, Rb 등을 제외한 대부분의 주성분원소, 미량원소 등의 함량이 서부 지역보다 더 부화되어 있다. 그리고 희토류원소들의 패턴을 볼 때 동부 지역은 약한 부의 Eu 이상을 나타내거나 Eu 이상이 거의 나타나지 않으며, 서부 지역은 뚜렷한 부의 Eu 이상이 나타나는 것으로 보아 서부 지역이 사장석의 분별정출이 더 심하게 일어났고, 분화가 더 많이 진행되었음을 알 수 있다.

사 사

이 논문은 과학재단 특정기초연구(R01-2002-000-00470-0)의 지원에 의해 연구되었으며, 이에 깊은 감사 를 드린다.

참고문헌

김용준 (1988) 보성-순천 지역에 분포하는 정편마암류의 지질시대와 성인에 대한 연구. 광산지질, 21권, p. 69-83.
 김용준, 오민수, 박재봉 (1993) 나주-해남지역에 분포하는 화성암류의 암석화학. 한국지구과학회지, 14권, p. 300-315.

- 김용준, 오민수, 강상원 (1994) 해남-강진 지역에 분포하는 화성암류에 대한 암석화학적 연구. 한국지구과학회지, 15권, p. 341-355.
- 김정빈, 윤정환, 김정택, 박재봉, 강상원, 김동주 (1994) 월출산지역에 분포하는 중생대 화강암류에 대한 암석화학적 연구. 자원환경지질학회지, 27권, p. 375-385.
- 김정빈, 박영석 (1996) 별교지역에 분포하는 심성암류의 암석화학과 지질시대에 대한 연구. 한국지구과학회지, 17권, p. 227-240.
- 김희남, 신인현, 안건상 (1994) 들산지역에 분포하는 화강암체의 암석 지화학적 특징과 광화작용과의 관련성 연구. 한국지구과학회지, 15권, p. 439-451.
- 김희남, 신인현, 안건상, 박운선, 이창신 (1997) 강진-장흥 지역 화강암류의 암석화학 및 Sr-Nd 동위원소 조성. 한국지구과학회지, 18권, p. 433-442.
- 박영석, 김정빈, 윤정환, 안건상 (1997) 고흥지역에 분포하는 백악기 심성암류의 지질시대와 암석화학적 연구. 한국지구과학회지, 18권, p. 70-83.
- 박천영, 윤정환, 박영석 (1993) 순천-광양지역에 분포하는 화성암류에 대한 Rb-Sr동위원소 및 암석 지구화학적 연구. 한국자원공학회지, 30권, p. 53-65.
- 신인현, 남기상 (1993) 해남지역에 분포하는 백악기 화강암류의 암석학적 및 지화학적 연구. 한국지구과학회지, 14권, p. 75-88.
- 신인현 (1994) 해남-완도지역의 백악기 화강암류에 대한 암석화학적 연구. 전북대학교 박사학위논문, 171p.
- 신인현, 남기상, 김희남, 박영석, 안건상 (1994) 완도지역에 분포하는 미문상화강암에 대한 암석화학적 연구. 자원환경지질학회지, 27권, p. 181-190.
- 윤정환, 김정빈, 오근창 (1999) 고흥 마복산 부근에 분포하는 심성암류의 암석 지구화학과 금함량. 자원환경지질학회지, 32권, p. 585-597.
- 이상만, 김형식 (1966) 한국지질도(1:50000)복내도폭 및 설명서. 국립지질조사소.
- 이창신, 김용준, 박천영, 이창주 (1992) 광양-송주지역에 분포하는 화강암류의 암석화학. 광산지질, 25권, p. 51-60.
- 이창신, 김정빈 (1996) 월출산 지역에 분포하는 중생대 화강암류에 대한 미량원소와 희토류원소의 특성. 자원환경지질학회지, 29권, p. 293-304.
- 장기홍, 이영길, 김규한 (1989) 남해 · 서상도폭 지질보고서(1:50000). 한국동력자원연구소.
- 최범영, 최현일, 황재하, 기원서, 고희재, 김유봉, 이병주, 송교영, 김정찬, 최영섭 (2002) 목포 · 여수 도폭 지질보고서(1:250000). 한국지질자원연구원.
- Bouseily, A. M. and Sokkary, A. A. (1975) The relation between Rb, Ba and Sr in granitic rock. Chem. Geol. Bd., v. 16, p. 207-219.
- Cullers, R. L. and Graf, J. L. (1984) Rare earth elements in igneous rocks of the continental crust : intermediate and silicic rocks-ore petrogenesis ; in Henderson, P., Rare earth elements geochemistry. Elsevier Sci. Pub. B. V., p. 275-316.
- Iddings, J. P. (1982) The origin of igneous rocks. Phil. Soc. Washington Bull., v. 12, p. 82-213.
- Irvine and Baragar (1971) A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian J. Earth Sci., v. 8, p. 523-548.
- Jin, M. S., Kim, S. Y. and Lee, J. S. (1981) Granitic magmatism and associated mineralization in the Gyeongsang basin, Korea. Mining Geol., v. 31, p. 245-260.
- Le Maitre, R. W. (1976) The chemical variability of some common igneous rocks. J. Petrol., v. 17, p. 589-637.
- Maniar, P. D. and Piccoli, P. M. (1989) Tectonic discrimination of granitoids. Geol. Soc. America Bull., v. 101, p. 635-643.
- Pearce, J. A., Harris, N. B. and Tindle, A. G. (1984) Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. J. Petrol., v. 25, p. 956-983.
- Petro, W. L., Vogel, T. A. and Wilband, J. T. (1979) Major-element chemistry of plutonic rock suites from compressional and extensional plate boundaries. Chem. Geol., v. 26, p. 217-235.
- Ryerson, F. J., Watson, E. B. (1987) Rutile saturation in magmas: implications for Ti-Nb-Ta depletion in orogenic rock series. Earth Planet. Sci. Lett., v. 86, p. 225-239.
- Streckeisen, A. (1976) To each plutonic rock its proper name. Earth Sci. Rev., v. 12, p. 1-33.
- Sun, S. S. and McDonough, W. F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Magmatism in the ocean basins. Geol. Soc. Spec. Publ., v. 42, p. 313-345.
- Taylor, S. R. (1965) The application of trace element data to problems petrology. Phy. Chem. Earth, v. 6, p. 133-213.
- White, A. J. R. and Chappell, B. W. (1983) Granitoid types and their distribution in the Lanchlan Fold Belt, south east Australia. Geol. Soc. America, Memoir, v. 159, p. 21-33.