

충남 홍성 및 광천 지역 초염기성암의 암석 및 지구화학

송석환^{1*} · 최선규² · 오창환³ · 서지은² · 최성호²

¹중부대학교 환경공학과, ²고려대학교 지구환경과학과, ³전북대학교 지구환경과학과

Petrography and Geochemistry of the Ultramafic Rocks from the Hongseong and Kwangcheon areas, Chungcheongnam-Do.

Suckhwan Song^{1*}, Seon Gyu Choi², Chang Hwan Oh³, Ji Eun Seo² and Seongho Choi²

¹Dept. of Environmental Engineering, Joongbu Univ., Chungnam 312-940, Korea

²Dept. of Earth and Environmental Sciences, Korea Univ., Seoul 136-701, Korea

³Dept. of Earth and Environmental Sciences, Cheonbuk National Univ., Cheonju 561-756, Korea

In the Hongseong and Kwangcheon areas, two ultramafic rocks are exposed as isolated bodies in the Precambrian Kyeonggi gneiss complex. The ultramafic rocks extend for several hundred meters to NNE direction and are contact with adjacent metasediments by steeply dipping faults. The rocks are dunite or harzburgite showing dominantly equigranular-mosaic and protogranular textures with a minor amount of porphyroclastic textures. They contain varying amounts of fosteritic olivine (Fo_{0.91-0.93}), magnesian pyroxene (En_{0.89-0.93}) and tremolitic to magnesian hornblende with minor amounts of spinel, serpentine, chlorite, magnetite, phlogopite and talc. The rocks are in contrast with adjacent gneiss complex or metabasite (amphibole, biotite, plagioclase, alkali-feldspar and quartz). Geochemically, these ultramafic rocks are characterized by high magnesium number ($Mg^{\#} > 0.88$) and transitional element (mainly, Ni > 1716 ppm, Cr > 1789 ppm), low alkali element (e.g. K₂O < 0.09 wt.%, Na₂O < 0.19 wt.%) and depletion of incompatible elements. The calculated correlation coefficients showed good positive correlations among the ferrous (e.g. Sc, V, Zn) elements, incompatible elements (e.g. REE), and among SiO₂ or Al₂O₃ with ferrous elements, whereas negative correlations are appeared between Ni and major elements. These results involve increasing of the ferrous- and Al₂O₃-bearing minerals (e.g. amphibole and mica) with decreasing of Mg-bearing minerals (e.g. olivine) depending on the degree of alteration. Calculated geothermometries and mineral assemblages suggest that the ultramafic rocks have been metamorphosed through the condition from the greenschist to amphibolite facies. Compared with ultramafic rocks elsewhere, it is thought that those of the Hongseong and Kwangcheon areas are derivatives of the depleted sources since they are depleted in incompatible elements including REE abundances. Moreover overall characteristics of the ultramafic rocks are similar to the those of orogenic related Alpine type ultramafic rocks, especially, shallow mantle slab varieties.

Key words : Hongseong, Kwangcheon, ultramafic rock, NNE direction, metamorphism, Alpine type ultramafic rocks

충남 홍성 및 광천 지역에는 두 초염기성암들이 선캠브리아기의 편마암 복합체내에서 격리된 암체로서 산출된다. 이 암체들은 북북동 방향으로 수백 미터 신장되었고, 인접한 변성퇴적암류와 거의 수직 단층관계로 접해 있다. 이 암석들은 듀나이트 및 하즈버자이트로 독립상-모자이크 조직 및 원생입상 조직을 보이고, 드물게 잔쇄반상조직을 보이기도 한다. 이 암석들은 다양한 양의 높은 포스테라이트 조성의 감람석, 마그네슘비의 사방휘석과, 트레모라이트에서 마그네시안 조성의 각섬석, 부 구성광물로 침정석, 사문석, 녹리석, 자철석, 금운모, 활석 등을 포함하는데 이는 주변 암인 편마암 복합체 및 변성 염기성암(각섬석, 흑운모, 사장석, 알칼리 장석, 석영)과 구분이 된다. 화학적으로 이들 초염기성암은 높은 마그네슘비 및 전이 원소 함량, 낮은 알칼리원소 함량, 결핍된 비호정 원소 함량을 보인다. 상관계수에서 높은 정의관계가 함철 원소 쌍, 비호정 원소 쌍, 함철원소와 SiO₂ 또는 Al₂O₃ 원소 사이에서 나타났고 부의 상관관계가 Ni 및 주 원소 사이에서 나타났다. 이들 결과들은 변질의 증가에 따른 함 철 및 Al₂O₃ 광물의 증가와 함마

*Corresponding author: shsong@mail.joongbu.ac.kr

그네슘 광물의 감소를 의미한다. 계산된 지질온도계와 광물 조합은 초염기성암이 녹색편암상에서 각섬암상 범위 조건에서 변성 받았음을 암시한다. 전 세계 유사암체와 비교해, 홍성 및 광천 초염기성암들은 희토류를 포함한 비호정성 원소에서 결핍된 특징을 보였는데 이는 이 암석이 결핍된 맨틀로부터 유래되었음을 암시한다. 이런 홍성 및 광천 지역 초염기성암의 전체적인 특징은 알파인형 초염기성암 중 특히 천부 맨틀 판 형의 경우와 유사하다.

주요어 : 홍성, 광천, 초염기성암, 북북동방향, 변성작용, 알파인형 초염기성암

1. 서 론

조산운동사와 관련되어 지표면에 노출된 알파인형 초염기성암(Hess, 1955; Moores and MacGregor, 1972)들의 암석학적, 광물학적, 지화학적 특징은 염기성 마그마에서 발견되는 초염기성 포획암들(O'Reilly and Griffin, 1988; Jackson, 1991; Arai *et al.*, 2003)과 유사하여 맨틀의 지화학적 진화사(Peacock, 1987; Nicolas, 1989; Melcher *et al.*, 2002) 및 상부 맨틀내 암석 물리적 특성을 이해하는데 매우 중요한 열쇠를 제공할 수 있다(Jackson and Arculus, 1984; Jackson *et al.*, 1990; 서만철 등, 2000).

이런 암석들이 아시아에서는 일본의 환태평양 오피올라이트대(Susuki, 1952), 러시아의 우랄산맥 지대(Malyuga, 1964; Igoshina, 1966), 인도의 히말라야 지역(Banerjee, 1972; Roy, 1974), 유럽은 스칸디나비아 지역의 서부해안 선(Rune, 1953; Brooks, 1987), 알프스에서 스페인 지역(Menezes, 1969; Reeves and Brooks, 1983; Babalonas *et al.*, 1984)을 따라 분포하고 있다. 또한 아메리카에서는 캘리포니아 지역에서 두 개의 대(Kruckberg, 1984; Sommers, 1984)와 쿠바에서 푸에르토리코 선(Berazain, 1976; Brooks *et al.*, 1977)을 따라 분포하고 있다.

한국에서도 이런 알파인형 초염기성암체와 비슷한 암체들이 경기 육괴의 충남 서부(엄상호와 이민성, 1963; 강필종과 임주환, 1974) 및 한국 남동부의 안동 및 울산지역(박양태와 윤형대, 1968; 김봉균 등, 1988; 김규한 등, 1990, 1993; 황진연 등, 1993)에서 분포하고 있다.

이런 지구조적으로 중요한 암석에 대한 접근은 이 암석들이 경험한 수회의 사문암화 및 변성 작용과 같은 외적인 요인에 의해 제약을 받는다(Melcher *et al.*, 2002). 이런 요인들은 원암으로부터 일차 광물들을 제거하고 일부 연구들이 지적 하듯(Frey, 1969) 전암의 원소 함량 변화에 영향을 줄 수도 있기 때문이다. 하지만 추가적인 많은 연구들은 이런 외적인 작용들이 주원소 및 희토류 원소에 크게는 영향을 주지 않음을

언급하고 하고 있다(Frey *et al.*, 1985; Bodinier *et al.*, 1988). 그 외 연구들은 변성 및 변질 과정에서 비호정성 원소 중 LFS(Cs, Sr, K, Rb, Ba)는 유동성 있으나 REE 및 그 외 HFS(Sc, Y, Th, Zr, Hf, Ti, Nb, Ta, P)는 비유동적임을 암시한다(Pearce, 1983; Humphries, 1984). 한편 Seewald and Seyfried (1990)는 전이원소 부류 중 Mn, Zn, Cu는 특별히 고온에서 유동적이나 Co, Ni, V, Cr은 비유동적임을 지적했다.

이런 이유 때문에 본 논문에서는 충남 서부 지역 중 홍성 및 광천 초염기성 암체에 대한 기원 및 특성을 규명하기 위한 시도에서 희토류 원소를 포함한 주 원소 및 미량원소가 적용되었다. 홍성 및 광천 초염기성 암체는 이 지역의 우세한 북북동 주 단층선과 동일 방향을 따라 평행하게 분포하고 격리되어 산출되며 제철소 용재, 석면 및 활석 광으로서 개발되어 수회의 휴, 폐광을 반복하다 현재는 광산 전 지역이 완전히 복구되어 있다.

기존에 이들 지역에 대해 지질학적(이종혁과 김성수, 1963), 지화학적(Wee *et al.*, 1994) 연구가 수행되어 있으며 주변암에 대한 암석학적, 광물학적 및 광상학적(Song and Moon, 1991; 이상헌과 최기주, 1994) 연구들도 일부 수행된 바 있다.

지화학적 연구(Wee *et al.*, 1994)는 충남 서부 일부 초염기성암체에 대한 대표적인 지화학적 분석치를 근거로 이들 암체가 많은 양의 부분용융을 받은 잔류물이며 이들 암체들의 성인을 LREE가 결핍된 맨틀과 LREE가 부화된 성분의 혼합물로서 해석했다. 한편 Song and Moon (1991)는 청양지역의 함각섬석 편마암내 흑운모가 심한 변질 작용을 받아 녹리석화와 질석화 되었음을 지적했고 이들 광물내 원소들의 치환 양상에 대해서도 설명하였다. 또한 이상헌과 최기주 (1994)는 대홍활석 광상 주변에 분포하는 편마암류들이 녹염석-엠폴라이트상 및 녹색편암상에 해당하는 2 회의 광역변성 작용과 이어지는 화강암화 작용에 의해 형성된 것으로 생각하였다.

이러한 연구에도 불구하고 홍성 및 광천 지역에 분포하는 초염기성암체에 대한 세밀한 암석학적 지화학적 연구들은 거의 되어진바 없다. 따라서 본 연구에서

는 홍성 및 광천 지역의 초염기성암체 성인에 대한 명확한 규명을 위해 초염기성암 및 주변 변성암류에 대한 체계적 야외조사와 함께 암석학적 접근이 시도되었고 초염기성암에 대한 상세한 광물학적, 지화학적 연구도 수행되었다. 광물들은 1차 광물과 변질 광물이 다 같이 연구 되었고 암성의 산상별로 채취된 대표적인 모든 암체들이 분석되었다. 이들 결과를 전 세계 분포하는 알파인형 초염기성암 연구 결과들과 비교하였으며 이들을 근거로 하여 이 초염기성암들의 산출 성인에 대한 해석을 시도하였다.

2. 일반지질

연구 지역(Fig. 1)은 크게 하부의 신캠브리아기 편마암류 및 변성 퇴적암류와 이를 관입하는 중생대의 화성암류로서 구성되어 있고 이 외에 관계가 불분명한 반화강암질 편암상 화강암, 화강 편마암류 등이 분포하고 있다(엄상호와 이민성, 1963; 이종혁과 김성수, 1963).

기저암인 덕정리 편마암류는 호상 및 안구상 편마암

으로 구성되어 있다. 일반적으로 호상편마암은 우백대와 우흑대의 광물조합이 두드러지며, 안구상 편마암은 0.5-4cm 크기의 안구형 알칼리 장석이 두드러진다. 이 편마암들은 주구성광물로 흑운모, 각섬석, 석영, 사장석 및 알칼리장석과 부구성광물로 석류석, 규선석, 녹리석, 불투명광물 등을 포함한다(Fig. 2D). 이들 지역 주변암에 대한 기존 연구들은 이 편마암류가 각섬암상의 광역 변성작용을 받았음을 지적하고 있다(지정만과 김규봉, 1977; 이상헌과 최기주, 1994).

덕정리 편마암류와 부정합 관계인 월현리층은 변성 퇴적암류인 함흑운모 또는 함흑운모-각섬석 편암과 이 편암들 사이에 수십 cm에서 수 m 폭으로 협재되어 있는 변성염기성암으로 구성되어 있다. 변성퇴적암류는 방향성과 신장성을 보이며 종종 재결정의 흔적을 보이는 흑운모, 각섬석, 석영, 사장석, 알칼리 장석을 주구성광물로, 석류석, 녹리석, 불투명광물을 부구성광물로 포함한다. 하지만 변성염기성암은 전형적인 모자이크 조직을 보이는 각섬석을 주로 포함하고 흑운모, 녹리석, 불투명광물 등을 포함하기도 한다.

중생대의 화성암류로는 홍성 화강암, 창곡리 섬록암,

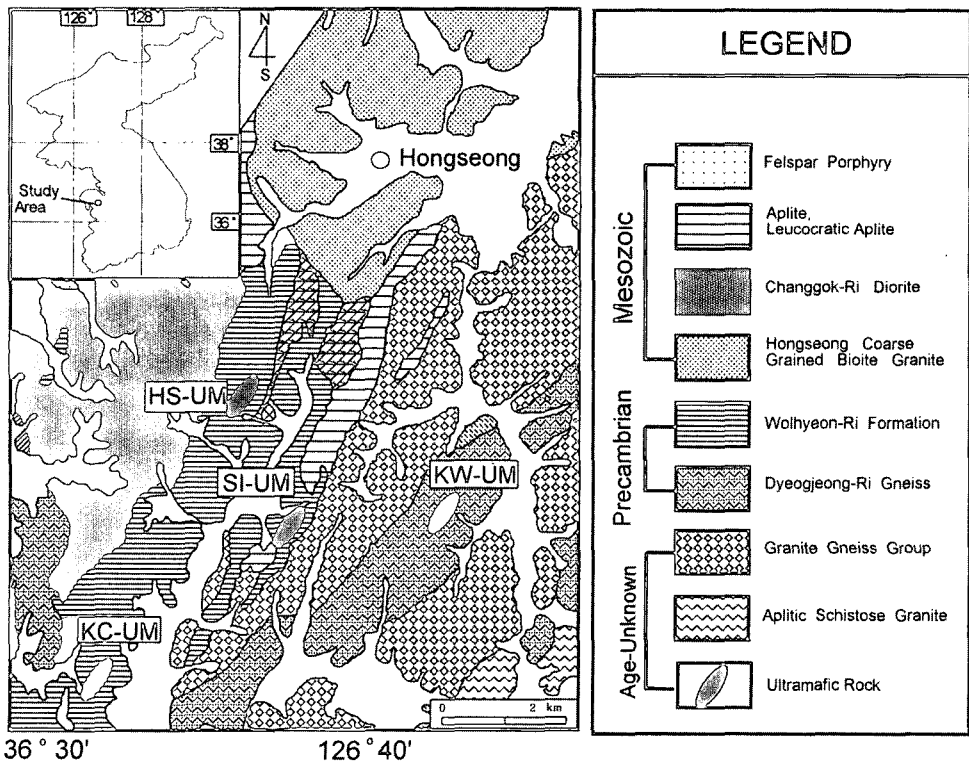


Fig. 1. Geological map of the Hongseong and Kwangcheon areas. Abbreviations; UM for ultramafic rocks, HS for Hongseong, KC for Kwangcheon, SI for Singok, and KW for Kaewol.

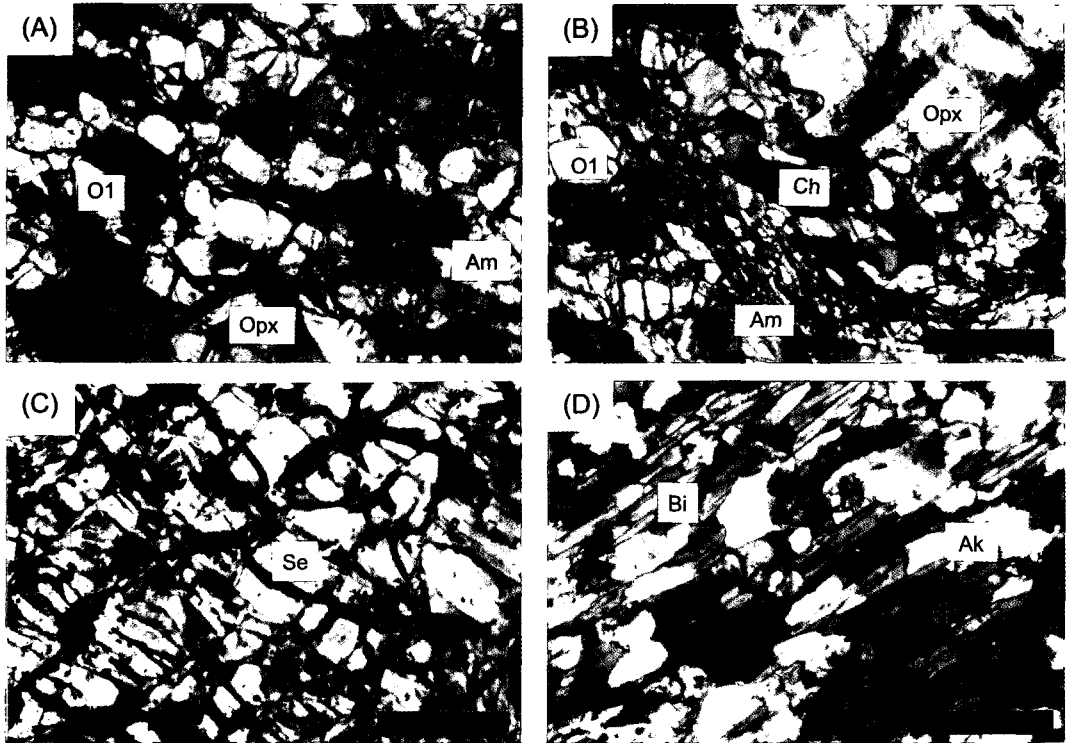


Fig. 2. Photomicrographs of ultramafic rocks from the Hongseong and Kwangcheon areas. A) Peridotite (PD) showing an equigranular-mosaic texture, B) Partially Serpentinized Peridotite (PSP) showing a porphyroclastic texture and containing serpentines more than the PD, C) Serpentinized Peridotite (SP) showing nearly a serpentinized texture and D) Gneiss showing a foliation. Scale bars represent 0.3 mm. Abbreviations; Ol-olivine, Opx-orthopyroxene, Am-amphibole, Ch-chromite, Se-serpentine, Bi-biotite and Ak-alkali feldspar.

반화강암질암, 우백질 화강암, 장석 반암이 있다. 홍성 화강암은 중립에서 조립의 알칼리 장석과 흑운모가 두드러지고 부구성광물로 사장석, 석영, 백운모, 자철석, 녹리석 등을 포함한다. 창곡리 섬록암은 암주상 암체로 편마암류 및 변성퇴적암류를 포획하거나 초염기성암을 관입하며 주구성광물로 각섬석, 흑운모, 사장석을, 부구성광물로 알칼리 장석, 미사장석 등을 포함한다. 반화강암질암은 사장석이 알칼리 장석에 비해 많으며 부분적으로 각섬석을 함유하고 우백질 화강암은 중립에서 세립의 입상 조직이 특징적이고 석영, 사장석, 알칼리 장석을 주로 포함한다. 장석 반암은 세립질 암석으로 장석 반정을 보이고 부분적으로 흑운모를 반정으로 갖기도 하며 석기로 석영, 사장석, 알칼리 장석, 흑운모 등을 포함한다. 이 외에도 다수의 산성에서 염기성 조성의 맥암류가 있어 이들은 주변암 및 초염기성암을 동시에 관입하고 있다.

그 외에 시대 미상의 암석으로 반화강암질암, 편상 화강암, 화강 편마암이 있다. 편상 화강암은 반화강암

질암, 반상 화강암이나 조립질 편상 화강암으로 변화를 보이며 주구성광물로 미사장석, 석영, 흑운모 등을 포함한다. 화강 편마암은 월현리층과 덕정리 편마암을 관입하며 구성암석으로 흑운모 화강편마암, 주입식 편마암, 안구상 편마암으로 주구성광물로 알칼리 장석, 사장석, 석영, 흑운모 등을 포함한다.

3. 초염기성암의 기재

홍성 및 광천 초염기성암은 각각 N18-35°E 및 N17-25°E 방향으로 주변암인 변성퇴적암류와 거의 수직단층관계로 접하고 있다. 북쪽 홍성 암체의 직경은 60-90 m이고, 대략 700여 m의 신장길이를 보이고, 남쪽 광천 암체의 직경은 50-80 m이며, 대략 1000 m의 신장길이를 보인다. 두 지역 중 광천의 암석은 거의 대부분이 사문암화 또는 활석화 되었다. 이 암체들은 인접 지역의 초염기성 암체들과 같이 (Song *et al.*, 1997; 송석환과 송운섭, 2001) 단층 접촉부에 단층점토

를 형성시키거나 단층 활면(Slickenside)을 보여 초염기성암이 지표면에 정지된 후 이동되었고 초염기성 암체내에서도 수차례에 걸친 단층작용이 있었음을 암시한다. 이 초염기성 암체들은 신장방향과 거의 평행한 방향으로 수 cm 에서 십 cm 폭으로 변질을 받아 검은색 및 연녹색의 반복되는 띠의 변화를 보이는데 사문암화 정도가 미약한 암석은 연녹색을, 강한 부분에는 검은색을 띤다.

홍성 지역의 신선한 암석의 경우 경하에서 등립상-모자이크 조직 및 원생입상 조직을 우세하게 보이고 드물게 사방회석 및 각섬석 거정질 주변에 재결정된 휘석, 각섬석을 갖는 잔쇄반상조직과 같은 변성 흔적을 보인다(Fig. 2A, 2B). 신선한 암체는 광물 조성상 듀나이트 또는 하즈버자이트로 주구성광물로 감람석, 사방회석, 각섬석을 그리고 부구성광물로 침정석, 자철석, 운모류 등을 포함한다. 이 암체들은 사문암화가 진행됨에 따라 유색광물의 함량이 감소하고 사문석 및 자철석의 양이 증가하며, 침정석류의 경우 적갈색에서 흑갈색으로 변해가는 특성을 보인다. 하지만 광천 암체는 거의 완전히 변질되어 사문석, 자철석, 활석, 녹리석, 침정석을 포함하며 드물게 각섬석을 포함하거나 감람석 및 휘석의 가상을 포함한다(Fig. 2C).

이번 연구에서도 기존 연구에서와 같이(Song *et al.*, 1997; 송석환과 송윤섭, 2001) 초염기성암을 사문암화의 정도에 따라 3 형태로 분류하였다. 첫째로 사문암화가 거의 진행되지 않아 감람석, 휘석, 각섬석이 주이며 사문석 함량이 15% 이하인 암석형(Peridotite, PD), 둘째로 부분적으로 사문암화되어 사문석의 함량이 15-80%인 암석형(Partially Serpentinized Peridotite, PSP), 그리고 셋째로 완전히 사문암화 되어 감람석 및 휘석이 없고 각섬석류도 거의 없으며 단지 사문석, 자철석, 녹리석, 침정석만을 포함하는 암석형(Serpentinized Peridotite, SP)으로 분류했다. 이를 근거로 했을 때 홍성암체에서는 세 형태의 암석이 모두 산출되나 광천지역에서는 SP 형만이 산출된다.

4. 분석방법

연구를 위해 초염기성암과 인접 변성암류로부터 대표적인 시료들이 채취되었고 이들에 대한 지구화학적 연구 및 광물학적 연구가 수행되었다. 초염기성암은 야외에서 사문암화 및 활석화 정도 등을 고려해서 채취하였고 주변암은 편마암류, 변성 퇴적암류, 변성 염기성암류를 분류해서 채취하였다.

채취된 암체들의 주원소, 미량원소 및 희토류의 조성을 알기 위해 캐나다 ACTLABS에서 ICP, INAA, ICP/MS와 XRF를 이용하여 분석하였고, 산출광물 조성을 알기 위해 감람석, 사방회석, 각섬석, 침정석등에 대해 전자현미분석을 그리고 광물학적, 화학적 특성을 파악하기 사문석에 대해 X선 회절분석을 실시하였다.

X선 회절분석을 위한 회절기는 연세대학교 MAC SCIENCE(Model; MXP 18A, RIN-2500)를 이용하였다(분석조건: Cu target, Ni filter, CuK α 1.54050 Å, 가속전압 및 전류는 각각 40 kV, 30 mA, 발산 슬릿(DS) 1 mm, 산란 슬릿(SS) 1 mm, 수광 슬릿(RS) 0.15 mm, scanning speed 4°/min.로 3-45°, 또는 3-50°).

광물분석은 전략광물 자원연구센터 JEOL Supeprobe JXA-8600SX와 기초과학 지원연구소의 CAMECA SX-50 EDS를 이용하여 분석하였고(분석조건: 각각 가속전압 15 kV, 15 kV, 시료전류 3 nA, 20 nA, 측정시간 100초, 10초) 측정된 결과들은 ZAF 보정법으로 보정하였다.

5. 암석화학

5.1. 초염기성암

주원소 및 전이원소에 대한 분석결과(Table 1, Fig. 3, 4) 연구지역 초염기성암들은 마그네슘비($Mg^{\#} = 100 \times Mg / (Mg + Fe)$), LOI 값, 전이원소 및 알칼리 원소 함량에서 주변암과 두드러진 차이를 보인다. 각각을 살펴보면 홍성 및 광천 초염기성암들은 $Mg^{\#}$ 에서 89.6-91.7 과 88.8-91.7로 주변암에 비해 매우 높았다(Fig. 3). 알칼리 원소 함량에서도 주변암에 비해 홍성($Na_2O < 0.19$ wt.%, $K_2O < 0.08$ wt.%, $CaO < 2.17$ wt.%) 과 광천($Na_2O < 0.01$ wt.%, $K_2O < 0.09$ wt.%, $CaO < 0.25$ wt.%) 초염기성암들은 모두 매우 낮았으며 TiO_2 와 P_2O_5 함량에서도 홍성(각각, < 0.04 wt.%, < 0.01 wt.%) 및 광천(각각, < 0.03 wt.%, < 0.01 wt.%) 지역 모두 낮았다. 전이원소 함량은 홍성($Ni = 1877-2397$ ppm, $Cr = 2301-2566$ ppm, $Co = 86-110$ ppm) 및 광천지역($Ni = 1716-2511$ ppm, $Cr = 1789-2841$ ppm, $Co = 79-149$ ppm) 초염기성암들이 모두 주변암에 비해 높았다.

초염기성암들은 변질정도에 따라 차이를 보였는데 LOI 값은 SP, PSP, PD가 각각 12.48-13.21, 8.72-10.90, 4.64-4.81%로 SP에서 PD로 변질정도가 낮을수록 감소했다. 또한 PD 형은 SP 및 PSP 형에 비해 Ni 함량이 낮았으며 PSP 와 PD 형은 SP 형에 비해 약간 높은 V 와 Sc 함량을 보였다.

Table 1. Major(wt.%) and trace(ppm) element analyses of the ultramafic rocks and asbestose from the Hongseong and Kwangcheon areas.

Locality	Hongseong									Kwangcheon							
	SP			PSP			PD			SP				ASB			
Name	HS403	HS404	HS408	HS418	HS419	HS504	HS502	HS416		KC3	KC5	KC6	KC9	KC11	KCA	KC10	KAB2
SiO ₂	38.66	38.85	37.83	38.73	39.02	39.45	42.67	41.42		38.66	38.74	37.74	38.31	39.07	38.91	49.12	56.89
TiO ₂	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04		0.03	0.01	0.02	0.01	0.03	0.01	0.23	0.16
Al ₂ O ₃	0.25	0.28	0.40	1.16	1.21	1.83	2.31	1.77		1.18	0.47	0.86	0.14	0.88	0.30	4.30	1.69
Fe ₂ O ₃ *	8.39	7.67	9.08	7.33	7.62	7.95	8.13	8.16		6.98	8.32	9.48	9.18	7.48	8.99	11.62	4.33
MnO	0.05	0.06	0.07	0.12	0.11	0.11	0.12	0.11		0.08	0.08	0.06	0.04	0.08	0.05	0.14	0.14
MgO	39.28	40.13	39.22	39.73	41.15	39.43	38.98	42.49		38.92	38.41	37.98	38.47	39.00	38.59	25.32	23.04
CaO	0.00	0.00	0.02	0.70	1.01	1.67	2.17	1.40		0.22	0.11	0.25	0.11	0.02	0.02	2.64	12.10
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04	0.10	0.19	0.09		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.39	0.24
K ₂ O	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.08	0.00		0.01	0.03	0.01	0.04	0.09	0.01	0.11	0.06
P ₂ O ₅	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
LOI	12.92	12.78	12.62	10.90	9.00	8.72	4.81	4.64		13.21	12.48	12.56	12.62	12.93	12.75	4.40	2.37
Total	99.60	99.79	99.27	98.71	99.18	99.32	99.49	100.14		99.30	98.66	98.96	98.94	99.60	99.67	98.37	100.95
Mg [#]	90.2	91.2	89.6	91.5	91.6	90.8	90.5	91.7		91.7	90.2	88.8	89.3	91.2	89.5	89.2	91.3
Ni	2397	2313	1952	1993	1954	1877	1960	1895		1716	2042	2092	2263	2007	2511	264	793
Cr	2445	2392	2301	2460	2370	2385	2428	2566		2067	1789	2328	2214	2445	2841	3545	637
Co	110	86	107	105	103	102	106	101		149	144	85	79	96	105	86	31
Sc	3	3	9	8	8	10	9	13		9	4	5	2	5	2	32	7.4
V	27	26	22	36	37	49	42	64		29	10	14	5	12	5	253	56
Cs	-	-	-	-	-	-	-	-		0.5	0.5	0.6	0.5	1	4.4	2.1	0.5
Ba	8	7	42	5	5	8	11	16		8	16	6	5	33	2	13	1
Sr	1.9	2.1	5.4	10	8.2	11	7.3	29		2.2	2.4	1.4	1.2	1	1	33	20
Rb	1.4	0.5	0.9	0.8	0.9	1.2	1.3	1.4		1.7	2.7	2.9	2.5	7.2	8.2	3.5	-
Zr	16	5.3	4.8	2.7	3.9	4.7	8.0	3.6		1.4	1.4	1.4	2.4	1.2	1.3	7	1
Nb	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	2	-	-	-	1	-
Y	-	-	-	-	-	1	1	1		-	-	-	-	-	-	5	24
Ta	-	-	-	-	-	-	-	-		0.06	0.08	0.07	0.06	0.07	0.05	0.09	1
La	1.6	1.1	0.5	0.2	0.3	0.4	0.3	1.5		2	0.7	0.5	0.4	0.3	0.9	1.9	3.9
Ce	1.2	1.6	1.0	0.3	0.4	0.5	0.7	2.7		4	1.6	1	0.9	0.6	1.6	4.9	13
Pr	0.34	0.16	0.11	0.05	0.05	0.05	0.07	0.26		0.35	0.17	0.09	0.08	0.06	0.15	0.57	-
Nd	1.3	0.5	0.4	0.1	0.1	0.2	0.3	0.8		1.2	0.6	0.3	0.2	0.2	0.6	2.5	12
Sm	0.3	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	0.6	3.1
Eu	0.06	-	-	-	-	-	-	0.05		-	-	-	-	-	-	0.15	0.4
Gd	0.2	-	-	-	-	-	0.1	0.1		0.2	0.1	-	-	-	-	0.6	-
Tb	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	0.1	0.6
Dy	0.2	-	-	-	-	0.2	0.2	0.2		-	-	-	-	-	-	0.9	-
Ho	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	0.2	-
Er	-	-	-	-	-	0.1	0.1	0.2		-	-	-	-	-	-	0.6	-
Tm	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	0.09	-
Yb	-	-	-	-	-	0.1	0.1	0.2		-	-	-	-	-	-	0.6	1.7
Lu	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	0.09	0.22
Hf	0.3	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-
Zn	47	46	63	65	74	58	81	79		42	47	35	25	48	43	134	39
Cu	11	8	9	7	9	18	8	20		10	101	10	10	10	10	57	4
Pb	7	9	-	-	-	8	-	-		6	5	-	-	-	-	-	-
Th	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.4	0.2	0.3		0.5	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	1.3	0.5
U	0.3	0.1	-	-	-	-	-	0.2		-	-	-	-	-	-	0.2	0.5
W	0.8	0.7	-	-	-	0.5	-	-		1.5	0.5	0.5	1.3	0.5	1.7	0.5	3
Sb	1.7	0.1	7.3	0.1	0.2	0.1	0.6	0.1		0.9	0.5	0.8	0.6	0.4	1.8	0.5	0.2
Ga	-	-	-	-	-	-	-	1		2	2	2	1	2	2	7	-
Bi	6	-	-	-	-	-	8	-		1	0.7	3.1	1.8	0.4	0.9	0.6	5
As	-	-	9	-	-	-	15	-		70	5	5	5	5	5	5	2

*Abbreviations; SP, PSP, and PD in the text and ASB for asbestose.

Fe₂O₃* is total iron. Mg[#] is equal to 100×Mg/(Mg+Fe(t)) (molecular proportion).

- means elements not detected or analysed.

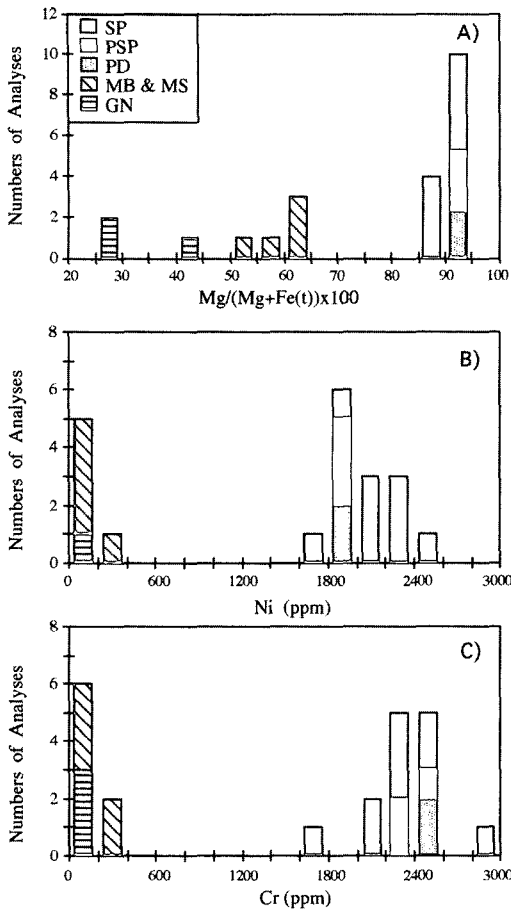


Fig. 3. Summary of the magnesium ratios(= $Mg/(Mg+Fe(t)) \times 100$) (A), Ni (B) and Cr (C) contents for the ultramafic rocks from the Hongseong and Kwangcheon areas, western part of Chungnam. Abbreviations; SP, PSP and PD are in the text. MB for metabasite, MS for metasediment and GN for gneiss.

지구화학자들에게 있어 도표화된 지구화학적 분석결과를 검증할 때 가장 중요한 것 중의 하나는 도표에 기재된 산화물 또는 원소들 사이에 무슨조합이 있는나이다. 이런 종류의 질문은 전통적으로 상관계수라는 통계적 기법을 이용하여 대답 되었다(Rollinson, 1993).

이 상관관계는 많은 개체들 사이에서 측정된 두 변수사이의 조합에 대한 강도의 정도라고 볼 수 있으며 일반적으로 상관계수로 알려진 직선적인 상관관계로서 설명이 가능하다. 예로 두 원소 사이에서 계산된 상관 계수(r)가 0.9란 의미는 $r^2=0.81$, 즉 총 변수 중 81%가 직선적인 관계를 보인다는 의미이다.

연구지역에 대한 각 원소 쌍들의 상관관계가 Table

2에 있고 대표적인 결과들이 Fig. 4에 도시되어 있다.

주 원소 쌍에서 정의 상관관계가 $SiO_2-Al_2O_3(r=0.77339)$, $SiO_2-MnO(r=0.61970)$, $Al_2O_3-MnO(r=0.87120)$ 쌍에서 나왔고 Fe_2O_3 및 MgO은 다른 주 원소들과 명확한 관계를 보이지 않았다. 주원소와 LOI (loss of ignition) 관계에서 LOI는 SiO_2 , Al_2O_3 , MnO, MgO 쌍과 부의 관계를 보였다. 전이원소 사이에서 정의 관계가 Sc-V, Sc-Zn, V-Zn 쌍, 부의 관계가 Ni-Sc 쌍에서 나타났고 Ni, Cr, Co 원소 쌍들 사이에서는 명확한 관계가 나타나지 않았다. 그리고 주 원소와 전이원소 사이의 정의 관계가 SiO_2-V , SiO_2-Zn , Al_2O_3-Sc , Al_2O_3-V , Al_2O_3-Zn , MnO-Sc, MnO-V, MnO-Zn, MgO-V, MgO-Zn 쌍에서 나타났고 부의 관계가 Al_2O_3-Ni , MnO-Ni 쌍에서 나타났다. 한편 LOI 는 Sc, V, Zn 과 부의 관계를 보였고 Ni, Cr과는 명확한 관계를 보이지 않았다.

이를 도시한 결과(Fig. 4)에서 정의 관계가 Al_2O_3-MnO , Al_2O_3-V , Al_2O_3-Zn , MnO-Sc, MnO-V, MnO-Zn, Sc-Zn, V-Zn, Nd-La, Pr-La 쌍에서 나타났고 부의 관계가 Al_2O_3-Ni , Sc-Ni 쌍에서 나타났다.

이런 전체적인 특징들은 초염기성암의 변질 진행에 따른 경하에서 보이는 광물 조합의 차이로 설명이 가능하다. 즉 LOI와 SiO_2 , Al_2O_3 , MgO, Sc, V, Zn 쌍의 부의 관계는 LOI의 증가에 따라 감람석, 사방회석, 침정석의 절대량의 감소를 의미한다. Al_2O_3 와 Sc, V, Zn 쌍 및 SiO_2 와 V, Zn 쌍과의 정의 관계와 Al_2O_3 와 Ni 및 Ni와 Sc쌍의 부의 관계는 변질의 증가에 따라 감람석이 감소되고 각섬석이 증가함을 의미한다. 한편 Al_2O_3 와 Cr과의 불명확한 관계는 침정석의 광물 변화가 함량변화에 큰 영향을 주지 않음을 암시한다. 또한 광물에서 Mg와 치환이 가능한 Ni, Cr, Co 원소 쌍들과의 불명확한 관계는 변질 과정 중 감람석 및 부수적으로 사방회석의 절대량이 다양한 변화를 보이기 때문이다.

전체적인 홍성 및 광천 지역 초염기성암이 보이는 낮은 알칼리 원소 함량, 높은 마그네슘 및 전이 원소 함량은 인접 신곡, 계월, 비봉 및 광시 지역(Song *et al.*, 1997; 송석환과 송운섭, 2001)과 같다.

또한 이들 결과치는 전형적인 상부 맨틀 포획암(Griffin *et al.*, 1988; O'Reilly and Griffin, 1988) 중 교대작용(metasomatism)의 영향을 받지 않는 페리도 타이트 및 알파인형 초염기성암(Dymek *et al.*, 1988; Meiser *et al.*, 1997; Melcher *et al.*, 2002) 중 듀나이트 및 하즈버자이트 조성의 암석과 유사하다.

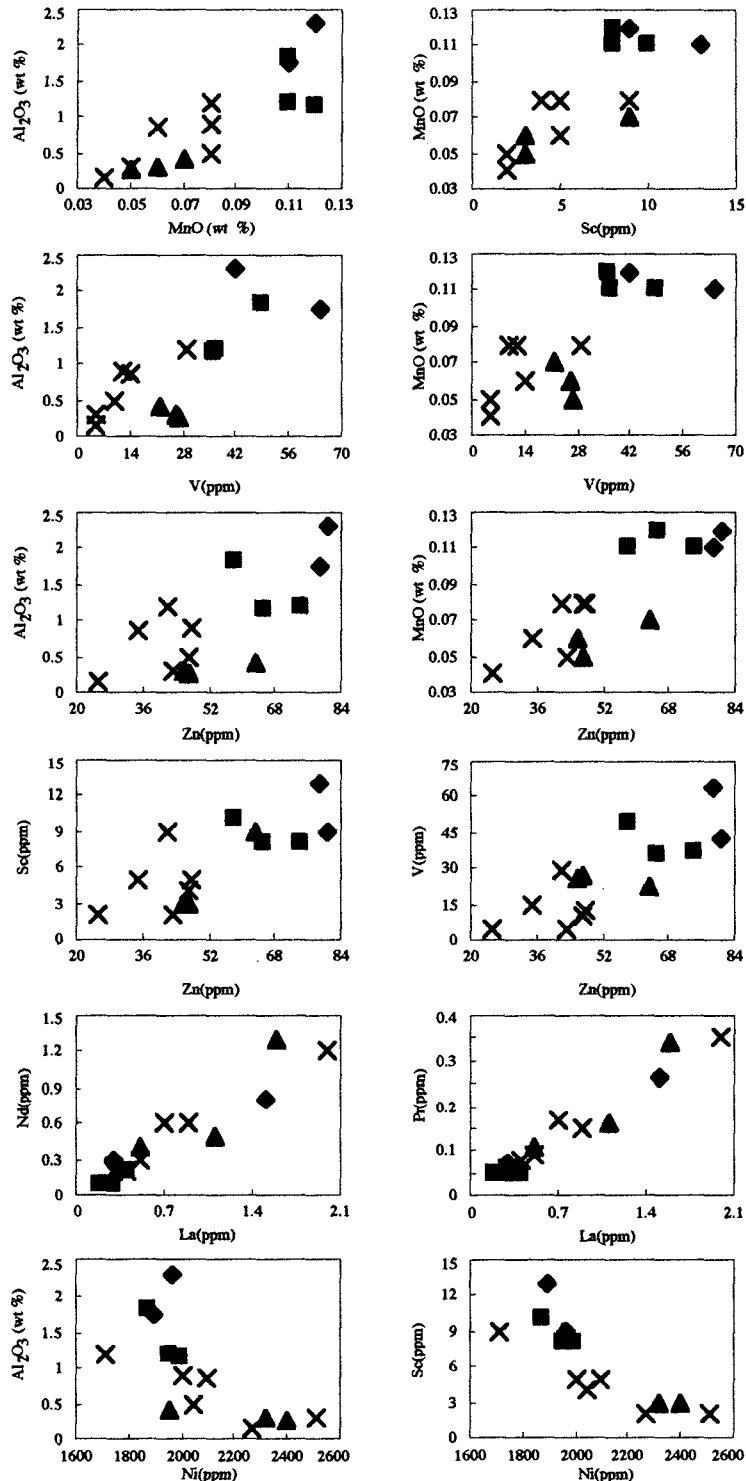


Fig. 4. Binary plots among major elements(wt %) and/or trace elements (ppm) for the ultramafic rocks from the Hongseong(HS) and Kwangcheon(KC) areas, Chungnam. Filled diamond for PD of the HS, filled square for PSP of the HS, filled triangle for SP of the HS, and cross for SP of the KC. Abbreviations; SP, PSP and PD in the text.

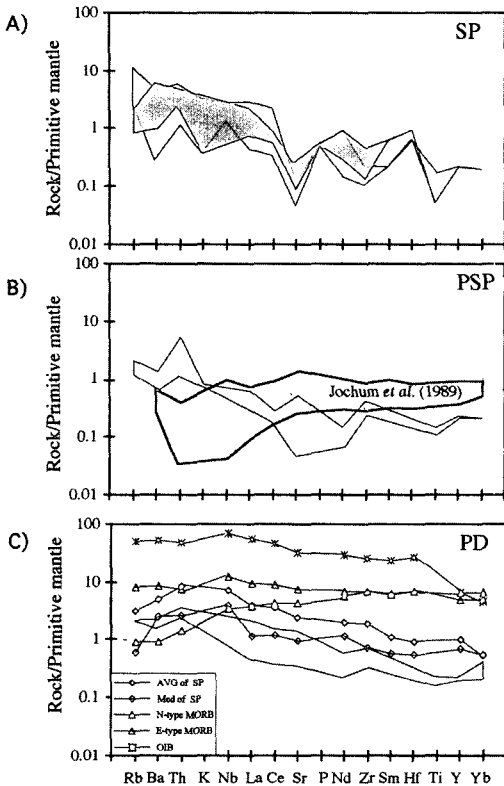


Fig. 5. PM(primitive mantle) normalized abundance patterns for moderately to highly incompatible elements of Hongseong (blank) and Kwangcheon(dotted) ultramafic rocks. The trace element orders followed those proposed by Sun and McDonough (1989). Nb, Y, and Yb of the SP from the Kangcheon, and Nb, P, Sm and Hf of the PSP, and Nb, P, Sm and Hf of the PD from the Hongseong are not detected. Abbreviations; SP, PSP and PD in the text. Data; Jochum *et al.* (1989) in (B) for xenoliths from MORB and OIB, Primitive mantle values, N-type MORB and E-type MORB and OIB from Sun and McDonough (1989), and AVG(Average) and Med(Median) for worldwide spinel peridotite xenoliths from McDonough (1990).

한편 석면은 높은 $Mg^\#$ (89.21-91.34) 및 SiO_2 (49.12-56.89 wt.%), CaO (2.64-12.1 wt.%) 함량을 보였고 비교적 낮은 TiO_2 (0.16-0.23 wt.%), Na_2O (0.24-0.39 wt.%), K_2O (0.06-0.11 wt.%) 함량과 높은 전이 원소($Ni=264-793$ ppm, $Cr=637-3535$ ppm, $V=56-253$ ppm) 함량을 보였다(Table 1).

그 외 미량 및 희토류 원소에 대한 분석결과가 Table 1에 있으며 근원맨틀 조성치로 표준화한 비호정 원소 빈도결과가 Fig. 5에 있다. 희토류 원소 함량에서 대부분이 1 ppm 이하였고 HREE는 분석한계 이하 값으로 낮았다.

일반적으로 변질정도의 다양성을 반영하듯 LFSE (Low Field Strength Element) 함량에서 특징적인 변화를 보였다. Ba의 원소 함량에서 홍성(5-42 ppm)과 광천암석(2-33 ppm)은 넓은 원소 함량변화를 보였고 Sr 함량에서도 홍성암석(1.9-29 ppm)은 넓은 범위의 변화를 보였다. 이런 함량 변화는 기존 비봉 및 광시 지역 (Song *et al.*, 1997)에서도 나타나는데 이유로는 모암의 변질 차이에 의한 이들 원소들의 부화 및 결핍 차이 또는 모암내에 다양한 양으로 존재하는 각섬석 및 운모류의 함량차이를 반영하는 것으로 생각된다.

뉴 칼레도니아 지역 오페올라이트 내 초염기성 암석에서도 알칼리 원소 및 비호정 원소들이 다양한 함량 범위를 보이는데 이는 근원 성분치의 함량이라기보다는 변질과 같은 2차적인 사건에 의한 함량 변화로 해석되었다(Prinzhofer and Allegre, 1985). 한편 석면은 비교적 부화된 Ba(20-33 ppm) 및 희토류원소 조성을 보였다.

상관관계에서(Table 2) 희토류 쌍을 포함한 HFSE (High Field Strength Element, 예로 Th)에서 명확한 상관관계를 보였다.

정의 관계가 Th-La, Th-Ce, Th-Pr, Th-Nd 쌍, La-Ce, La-Pr, La-Nd 쌍, Ce-Pr, Ce-Nd, Pr-Nd 쌍에서 나타났고 부의 관계가 Sr-LOI 쌍에서 나타났다. HFSE 원소 쌍들과의 명확한 정의 관계는 이들 원소가 변질된 암석의 성인적 접근에 유용함을 암시한다. 전반적으로 희토류를 포함한 HFSE 쌍들은 변성, 변질, 풍화 과정 중이라도 LFSE(Low Field Strength Element)에 비해 쉽게 거동을 하지 않고 있기 때문이다(Rollinson, 1993).

근원 맨틀 조성치로 표준화한 불호정원소의 빈도결과에서 (Fig. 5) 전체적으로 모든 초염기성암들은 LFSE가 HFSE에 비해 부화되어 나타났으며 사문암화가 진행될수록 이런 경향은 두드러졌다. 이런 경향은 인접 비봉, 광시지역 초염기성암의 암상 차이에 따른 원소 빈도의 변화 특성(Song *et al.*, 1997)과 유사하다.

5.2. 주변암석들

주변암석 중 대표적인 편마암류와 변성 퇴적암 및 염기성암류의 주 원소 및 전이원소에 대한 분석결과가 Table 3에 있고 Fig. 3에 도시되어 있다.

일반적으로 변성 퇴적암 및 염기성암류들은 초염기성암에 비해 높은 알칼리($Na_2O=0.56-2.75$ wt.%, $K_2O=0.87-4.61$ wt.%, $CaO=9.36-15.33$ wt.%) 및 기타 주 원소($SiO_2=40.84-47.15$ wt.%, $TiO_2=0.96-2.46$

wt.%, $Al_2O_3=12.32-15.24$ wt.%) 함량을 보였고 낮은 $Mg^\#(51.7-64.1)$ 를 보였다. 한편 편마암류는 연구지역에서 제일 높은 $SiO_2(<57.7$ wt.%) 조성을 보였고 변성 퇴적암 및 염기성암류보다 낮은 $MnO(0.04-0.14$ wt.%), $CaO(1.72-5.5$ wt.%) 조성치를 보인다(Table 3). 전이원소 함량에서 변성 퇴적암 및 염기성암류는 초염기성암에 비해 낮은 Ni(61-234 ppm), Cr(62-307 ppm), Co(22-51 ppm) 함량과 높은 Sc(22.2-35.0 ppm), V(156-288 ppm) 함량을 보였다. 편마암류는 변성 퇴적암 및 염기성암류와 초염기성암에 비해 매우 낮은 Ni(3-28 ppm), Cr(12-42 ppm) 및 Co(2-21 ppm) 함량과 변성 퇴적암 및 염기성암류보다 낮은 Sc(2.5-13.5 ppm),

V(14-124 ppm)함량을 보인다.

그 외의 미량 및 희토류 원소에 대한 대표적인 분석 결과가 Table 3에 있으며 근원 맨틀 조성치로 표준화한 원소의 빈도결과가 Fig. 6에 있다.

편마암류와 변성 퇴적암 및 염기성암류는 초염기성암에 비해 대부분 비호정성 원소 함량에서 높았고 변성 퇴적암 및 염기성암류와 편마암의 비교에서 편마암이 대부분의 원소에서 약간 부화된 함량을 보였다(Table 3). 근원맨틀조성치로 표준화한 비호정 원소의 함량(Fig. 6)에서 편마암류, 변성 퇴적암 및 염기성암류는 LFSE 및 LREE가 HFSE 및 HREE에 비해 부화된 특징을 보였다.

Table 2. Correlation coefficients of the ultramafic rocks from the Hongseong and Kwangcheon areas.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	LOI	Fe ₂ O ₃	MgO	Ni	Cr	Co	Sc	V	Zn	Sr	Th	La	Ce	Pr
Al ₂ O ₃	.77339																
MnO	.61970	.87120															
LOI	-.88913	-.85250	-.76056														
Fe ₂ O ₃	-.24932	-.39512	-.56505	.14926													
MgO	.43260	.38130	.51559	-.61209	-.39059												
Ni	-.25511	-.68431	-.70400	.40702	.48617	-.26626											
Cr	.20689	.12565	.03190	-.26047	.12614	.29899	.41122										
Co	.02244	.10396	.19694	.09674	-.40578	-.11463	-.41145	-.54462									
Sc	.50661	.80622	.80163	-.71491	-.36126	.59357	-.83403	.02522	.21694								
V	.64517	.78550	.77403	-.81728	-.43514	.77267	-.54495	.20275	.04088	.85145							
Zn	.70002	.72237	.84586	-.82118	-.34853	.68085	-.46842	.25025	.09323	.76349	.79046						
Sr	.58355	.61845	.64525	-.80072	-.17559	.82870	-.43354	.25717	-.05403	.78874	.85433	.70867					
Th	.07214	.15271	-.06427	.04764	-.32005	.05148	-.20467	-.10382	.44010	.22764	.32168	-.09674	.06763				
La	.01678	-.13297	-.27481	.12379	-.20610	.21569	.03220	-.05543	.45494	.05524	.17342	-.15651	.12143	.78089			
Ce	.05822	-.01144	-.16355	.07286	-.21710	.13994	-.21993	-.21798	.56130	.18783	.11107	-.15592	.15110	.64660	.87810		
Pr	-.00337	-.18202	-.29538	.15577	-.15068	.13974	.05573	-.13730	.52803	.01008	.11355	-.15526	.07282	.73166	.97308	.81938	
Nd	-.00054	-.19332	-.32737	.18122	-.09932	.04406	.11540	-.10444	.54396	-.04165	.06443	-.16699	-.00584	.75138	.94444	.76195	.98635

Table 3. Major(wt.%) and trace(ppm) element analyses of the metabasite, metasediment, and gneiss from the Hongseong and Kwangcheon areas.

Locality	Hongseong				Kwangcheon			
	MB		GN		MB		MS	GN
Type	HS414	HS21A	HS21B	HS51A	KC4	KC8	KC7	KC1
Name	HS414	HS21A	HS21B	HS51A	KC4	KC8	KC7	KC1
SiO ₂	46.87	45.87	70.18	65.78	40.84	44.92	47.15	57.51
TiO ₂	2.04	0.96	0.14	0.57	2.46	1.23	1.72	1.29
Al ₂ O ₃	15.24	14.41	16.20	15.51	12.32	14.56	13.52	13.78
Fe ₂ O ₃ *	13.23	13.89	1.73	4.31	15.11	10.69	6.58	9
MnO	0.19	0.21	0.04	0.05	0.27	0.26	0.14	0.14
MgO	7.13	10.12	0.34	0.83	13.6	9.27	5.8	3.41
CaO	11.03	10.56	1.72	2.03	9.36	14.11	15.33	5.5
Na ₂ O	2.75	2.01	5.76	2.73	1.21	1.37	0.56	4.83
K ₂ O	0.92	0.87	2.03	5.33	1.1	2.7	4.61	3.35
P ₂ O ₅	0.00	0.03	0.05	0.19	0.45	0.02	0.28	0.22
LOI	0.92	1.43	0.64	0.99	3.67	3.62	3.09	0.38
Total	100.56	100.34	98.84	98.38	100.37	99.74	98.75	99.4
$Mg^\#$	51.7	59.1	28.1	27.6	64.1	63.2	63.6	42.9

Table 3. Continued.

Locality Type	Hongseong				Kwangcheon			
	MB		GN		MB		MS	GN
Name	HS414	HS21A	HS21B	HS51A	KC4	KC8	KC7	KC1
Ni	136	193	3	12	139	234	61	28
Cr	258	153	12	30	76	307	62	42
Co	51	51	2	7	46	43	22	21
Sc	35	32	2.5	7.2	23.6	30	22.2	13.5
V	288	273	14	30	225	229	156	124
Cs	0.7	0.6	1.2	2.7	1.6	3.3	2	1.2
Ba	331	204	432	1415	437	760	1390	581
Sr	434	352	358	266	145	335	673	247
Rb	25	24	44	141	20	128	175	48
Zr	119	29	71	223	998	104	502	579
Nb	14	-	-	-	-	17	-	-
Y	23	20	13	36	95	24	78	67
Ta	0.80	-	-	1	3	0.99	3	2
La	17	6.5	20.2	67.7	99.9	21	97.3	78.4
Ce	33	9	31	123	182	43	164	153
Pr	4.62	-	-	-	-	4.79	-	-
Nd	20	8	10	48	81	21	64	63
Sm	4.9	2.1	10	48	15.6	4.9	12.9	11.8
Eu	1.73	0.8	0.5	1.4	2.9	1.51	2.5	1.7
Gd	4.73	-	-	-	-	4.5	-	-
Tb	0.8	0.5	-	1.1	2.5	0.8	2.4	2.1
Dy	4.2	-	-	-	-	4.7	-	-
Ho	0.8	-	-	-	-	0.9	-	-
Er	2.4	-	-	-	-	2.7	-	-
Tm	0.34	-	-	-	-	0.4	-	-
Yb	2.1	1.7	0.8	2.4	7.1	2.4	6.7	5.7
Lu	0.31	0.22	0.10	0.35	1.06	0.36	0.93	0.83
Hf	2.8	0.9	1.9	6.1	19	2.9	11.5	11.7
Zn	150	103	30	62	188	69	68	110
Cu	12	78	3	11	11	217	38	83
Pb	10	-	17	41	5	28	43	7
Th	1.1	-	5.5	23.2	9.3	3.5	12.2	10.2
U	0.3	-	-	0.9	1	1.1	2.1	0.5
W	2.6	-	-	-	3	1.5	3	3
Sb	0.2	-	-	-	0.2	0.6	0.2	0.2
Ga	1	-	-	-	-	16	-	-
Bi	-	-	-	-	5	1.8	5	5
As	-	-	-	-	2	5	2	2

*Abbreviations; MB for metabasite, MS for metasediment, and GN for gneiss.

$\text{Fe}_2\text{O}_3^* \text{Mg}^\#$ is equal to $100 \times \text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}(t))$ (molecular proportion).

- means elements not detected or analysed.

6. 초염기성암의 광물분석결과

감람석은 야외에서 옅은 녹색을 띠며 현미경하에서 등립질이 주이며 수회에 걸쳐 사분암화 되었다(Fig.

2) 일부 결정들은 재결정 되어 산출 되기도 한다. 이 광물은 제한적인 포스테라이트($\text{Fo}_{0.91-0.93}$) 조성 및 비교적 높은 NiO (0.13-0.70 wt.%) 함량과 분석 한계 이하의 Al_2O_3 와 K_2O 조성을 보였다(Table 4A, Fig. 7).

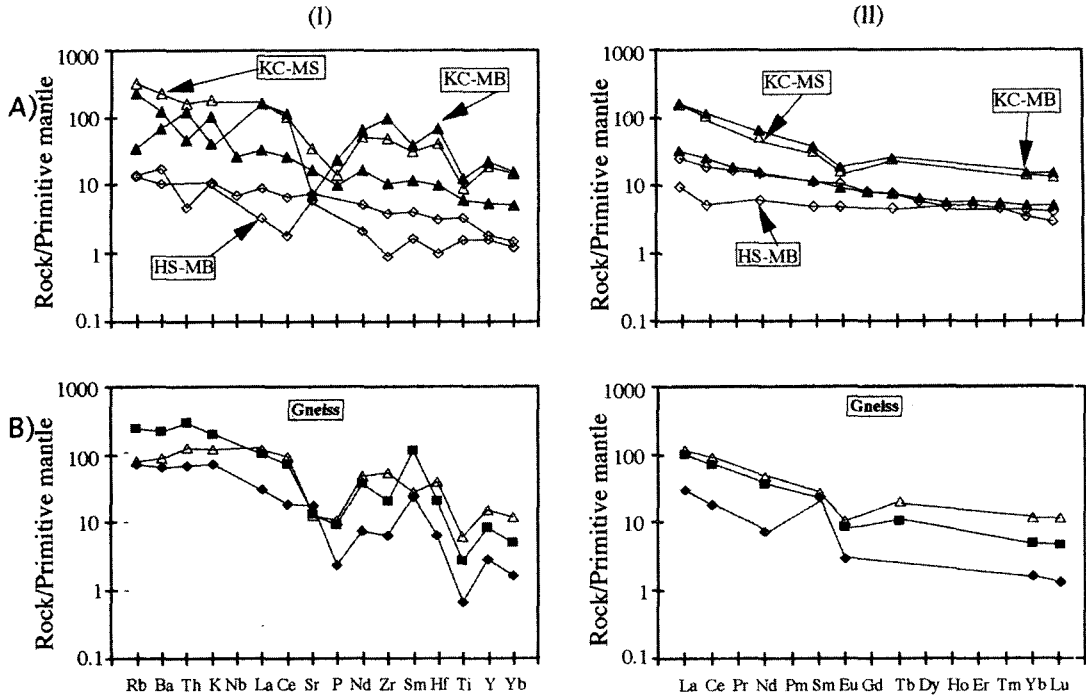


Fig. 6. Primitive mantle normalized abundance patterns for moderately to highly incompatible elements(I) and REE(II) abundances of metabasite (MB), metasediment (MS) and gneiss (B) from Hongseong (HS) and Kwangcheon (KC) areas, western part of Chungnam. The trace element orders followed those proposed by Sun and McDonough (1989). Primitive mantle values are from Sun and McDonough (1989).

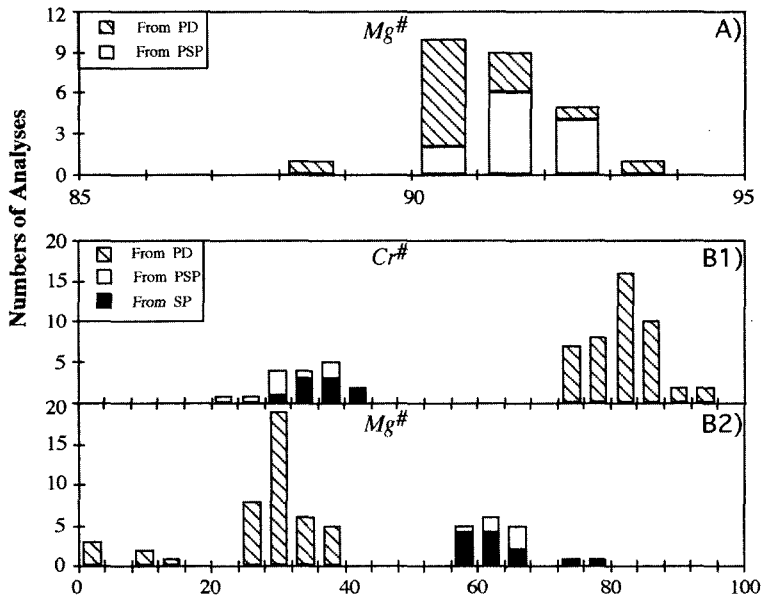


Fig. 7. Magnesium numbers ($Mg^{\#} = Mg / (Mg + Fe^{2+}) \times 100$), and Chromium ratios ($Cr^{\#} = Cr / (Cr + Al) \times 100$) for olivine and orthopyroxene (A), and/or spinel compositions (B) from the Hongseong and Kwangcheon ultramafic rocks, western part of Chungnam. Abbreviations; SP, PSP and PD are in the text.

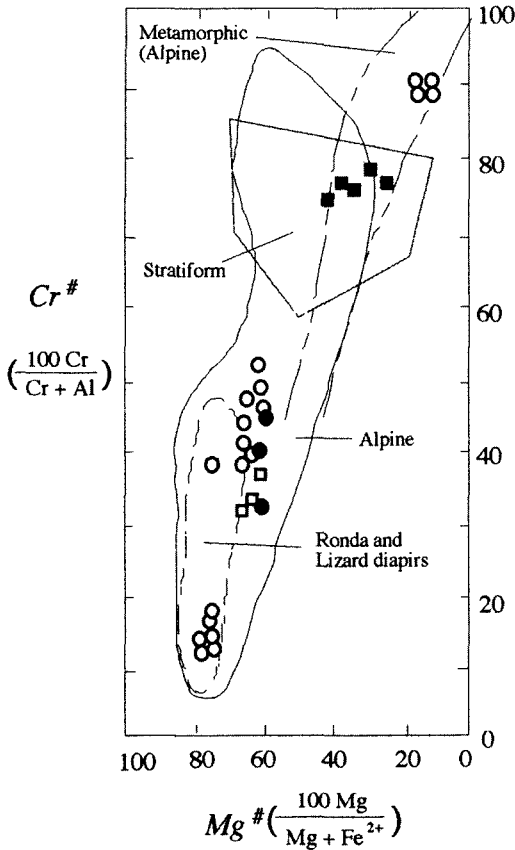


Fig. 8. Mg-number and Cr-ratio of spinel in ultramafic rocks from the Hongseong(HS) and Kwangcheon(KC) areas, western part of Chungnam and their comparisons with available data. Filled circle from the PD type of the HS, open square from the PSP type of the HS, filled square from the SP type of the HS and KC. Data: open circle from Bibong and Kwangsi areas (Song *et al.* 1997), and other data ranges (Metamorphic, Stratiform, Alpine, Ronda and Lizard diapirs) from Dick and Bullen (1984), Lipin (1984) and Agata (1988). Abbreviations; SP, PSP and PD in the text.

하지만 결정에 따른 함량 조성 차이는 뚜렷이 구분되지 않았는데 예로 격리된 단결정인 HS 418는 재결정을 받은 HS 419와 유사했다.

사방회석은 격리된 단결정이 주이고 거정질 결정으로 산출되기도 한다. 브론자이트에서 엔스테타이트(En_{0.89-0.93})의 제한적인 광물조성을 가지며, 낮은 CaO (0-0.38 wt %) 및 Al₂O₃(0.76-1.32 wt %) 조성변화를 보였다(Table 4A, Fig. 7).

침정석은 변질정도에 따라 조성차이를 보인다. 일반적으로 모암이 사문암화 증가에 따라 각갈색에서 흑갈색으로 변하며 Cr 및 Fe³⁺ 함량이 증가하고 Mg 함량

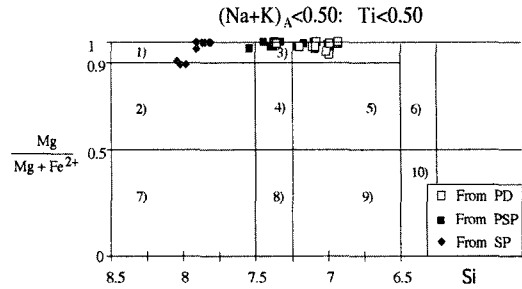


Fig. 9. Amphibole compositions of the ultramafic rocks from the Hongseong area. 1) Tremolite, 2) Actinolite, 3) Tremolitic hornblende, 4) Actinolitic hornblende, 5) Magnesian-hornblende, 6) Tschermakitic hornblende, 7) Ferro-actinolite, 8) Ferro-actinolitic hornblende, 9) Ferro-hornblende, and 10) Ferro-tschermakitic hornblende. Abbreviations; SP, PSP and PD in the text.

이 감소되는 경향을 보인다(Table 4A, Fig. 7). 기존 침정석군에 대한 연구들은(Goding and Bayliss, 1968; Beeson and Jackson, 1969) 초염기암에 변질작용이 진행됨에 따라 Mg와 Al 이온이 축출되고 상대적으로 유동성이 적은 Fe 및 Cr이 잔류되며 변질정도가 더 증가되면, Cr보다는 Fe가 증가됨을 언급하고 있다.

전체적으로 연구 지역 내 각갈색의 침정석류는 0.31-0.43 Cr#(=Cr/(Cr+Al))와 0.58-0.65 Mg#(=Mg/(Mg+Fe²⁺)) 비를 가지나 흑갈색을 띠는 침정석류는 0.73-0.77 Cr#와 0.24-0.37 Mg#를 갖는다. 두 연구 지역 중 심하게 변질을 받은 광천지역 초염기성암의 변질대 부분에서 산출되는 침정석의 경우 흑갈색이 우세했다. 하지만 연구지역 초염기성암의 전체적인 화학 조성치는 알파인형의 초염기성암으로부터 온 침정석군의 경향(Dick and Bullen, 1984; Agata, 1988)과 유사하다(Fig. 8).

각섬석은 단일의 자형 결정, 거정질 또는 섬유상 결정으로 산출되며 조성상 Ca-각섬석이다. 하지만 부분적인 차이를 보이는데 단일의 자형 결정 및 거정질 형태는 트레모라이트 각섬석에서 마그네시오 각섬석조성을 보이고(Table 4B, Fig. 9) 섬유상 형태는 투각섬석 조성을 보인다.

사문석은 감람석 및 휘석의 변질물로 일부 결정들은 감람석 및 휘석류의 가상을 보존하기도 한다.이 광물은 변질된 각섬석 및 재결정 광물을 침투하기도 함으로서 수회에 걸친 사문화 작용을 암시하고 있다. 격자형 망상 구조(mesh texture), 모래 시계 조직(hourglass texture), 리본 조직(ribbon texture)을 보이거나 세맥상으로 산출된다.

하지만 모암의 변질 정도에 따라 우세한 광물 조직

Table 5. X-ray powder diffraction data of the lizardite 1T(A), chrysotile 2Or(B) and lizardite 6T(C) from the Hongseong (HS) and Kwangcheon(KC) areas.

(A)

Lizardite 1T (JCPDS18-779)			Lizardite 1T (HS5)			Lizardite 1T (KC945-C4)		
hkl	d	I	hkl	d	I	hkl	d	I
001	7.400	100	001	7.320	100	001	7.260	100
100	4.600	80	100	4.600	20	100	4.588	14
101	3.900	50				101	3.922	8
002	3.670	80	002	3.648	54	002	3.636	100
102	2.875	10						
110	2.663	35						
111	2.505	100	111	2.499	34	111	2.497	49
003	2.410	5						
200	2.307	5						
103	2.156	80	103	2.144	14	103	2.144	16

(B)

Chrysotile 2Or (JCPDS 25-645)			Chrysotile 2Or (KC945-C3)		
hkl	d	I	hkl	d	I
002	7.360	100	002	7.290	52
020	4.560	50	020	4.440	7
004	3.660	80	004	3.632	100
200	2.660	30			
201	2.604	40			
202	2.500	50			
006	2.451	65	006	2.421	9
040	2.285	20			
205	1.972	20			

(C)

Lizardite 6T (JCPDS9-444)			Lizardite 6T (HS5)		
hkl	d	I	hkl	d	I
006	7.330	100	006	7.290	100
101	4.660	60	101	4.602	11
103	4.400	10			
106	3.900	5			
0.1.12	3.660	100	0.0.12	3.649	84
108	3.530	5			
1.0.13	2.720	5			
113	2.623	30	113	2.623	5
116	2.502	100	116	2.495	26
117	2.450	10			
0.0.18	2.425	10			
119	2.335	70	119	2.338	18
1.1.12	2.149	60	1.1.12	2.151	8
1.1.15	1.963	70	1.1.15	2.025	9

에 차이가 나타났는데 PSP 형의 암석은 격자형 망상 구조나 아우어 글래스 조직이, 그리고 SP형에서는 리본 조직이 우세하였다. 이 사문석의 다구조형을 화학 조성차이로 구분(Whittaker and Wicks, 1970)이 가능

하나 본 연구에서는 이들 사이의 명확한 차이를 구분하지 못하였다(Table 4B).

하지만 이 광물들의 구별은 X선회절 분석으로 가능한데(Bailey, 1988) 연구지역의 X선 회절 분석결과

(Table 5)를 살펴보면 대부분의 사문석은 리자다이트 1T형이고 맥상의 사문석은 리자다이트 6T형과 크리소타일 2Or형으로 산출된다. 전자의 리자다이트 1T형은 7.26-7.32 Å(001)의 강한 피크를 보이고 4.59-4.60 Å(100), 3.64-3.65 Å(002) 그리고 2.50 Å(111) 피크 등을 갖는다. 한편 리자다이트 6T 형은 고각도 영역인 (119), (1.1.12) 및 (1.1.15) 면에서 강한 피크를 보여 리자다이트 1T형과 구분되며 크리소타일 2Or형은 리자다이트 1T형에서 나타나지 않는 (006)면에서 강한 피크를 보여 구분된다.

녹리석은 크롬철석과 같이 공존하거나 함-철 및 마그네슘광물과 연관되어 산출되고 운모류나 각섬석류의 변질광물로도 산출된다. 분석 결과(Table 4B) 이 광물들은 penninite 조성에 해당된다 (Hey, 1954). 침정석류 주변의 녹리석은 사문암화의 진행에 따라 침정석에서 크롬철석으로 바뀌면서 빠져나온 Mg, Al의 성분에서 생성되었으며 이렇게 생긴 녹리석이 크롬철석 주위에 침전된 양상을 보이는 것으로 생각된다. 그 외 Ni-황화 광물이 있는데 이 광물은 사문석 및 자철석과 함께 공존하며 화학조성은 펜틀란다이트와 해즐우드다이트이다. 그 외에 방해석, 자철석, 활석 등도 산출된다.

7. 토 론

7.1. 기존 알파인형 초염기성암과의 비교

연구지역 초염기성암에 대한 야외 산상, 암석학적, 광물학적 특징 및 지화학적 조성치들을 세계의 다른 전형적인 초염기성암에 대한 조성치들과 비교하였다.

첫째 산상면에서 연구 지역의 초염기성암들은 한반도 경기 육괴 지역 내의 타 암체들과 같이 수 십 m 폭과 수백 m 길이의 암상으로 산출되고 인접부에 단층이 존재한다. 또한 기존 인접 대부분 암체들과 같이 단층과 평행하게 신장된 분포를 보이고 있다(Song et al. 1997; 송석환과 송윤섭, 2001). 이는 이들 초염기성암들의 산상이 한반도내 지구조운동, 특히 선캠브리아기 경기 육괴의 진화사와 관련이 있었음을 암시한다. 이런 산상은 서유럽 바리스크 산맥과 관련해 산출되는 암상들과 유사한 특징을 보인다(Schmadicke and Evans, 1997). 이 지역 초염기성암체들도 편암암 복합체내에서 단층과 연관해서 수 km 씩 신장되어 산출되고 있다.

둘째 암석학적으로 연구 지역의 초염기성암들은 다양한 변질 정도를 보이기도 하지만 신선한 암석의 광

물 조성은 감람석, 사방휘석, 각섬석, 침정석으로서 충남 기타 지역 및 한반도 남동부의 알파인형 초염기성암체(최수용 등, 1990; 우영균 등, 1991; 황진연 등, 1993; 서만철 등, 2000) 및 부루리지 대 (Spell and Norrell, 1990)내의 초염기성암과 유사하다. 노스캐롤라이나의 부루리지 대 내 초염기성암들도 사문암 및 변성받은 듀나이트, 페리도타이트, 휘록암으로 구성 되어 있고 다양한 양의 활석, 앤스펠라이트, 트래모라이트 등을 포함하고 있다(Spell and Norrell, 1990).

또한 경화에서 연구 지역 초염기성암들은 충남 서부 인접 암체와 같이(송석환과 송윤섭, 2001) 등립질-모자이트 및 원생입상 조직을 우세하게 보이나 부분적으로는 잔쇄반상조직을 보이거나 재결정 또는 회전과 같은 변성의 흔적을 보였다. 캐나다 뉴펀드랜드 연구에서도 (Varfalvy et al., 1996) 초염기성암체내의 등립질-모자이트, 잔쇄 반상 및 재결정 조직의 존재를 지적 했고 남동스페인의 Cerro del Almirez 연구에도(Trommsdorff et al., 1998) 초염기성암체내에 잔쇄반상조직 및 재결정의 특성을 지적 했다.

셋째 광물조성면에서 이들 초염기성암들은 높은 포스테라이트 및 Ni 조성의 감람석, 높은 마그네슘함량의 사방휘석을 보인다. 이런 특성은 인접 충남 지역 및 초염기성암이 갖는 암체들과 같은 특징(Wee et al., 1994; 송석환과 송윤섭, 2001) 및 한반도 맨틀 포획암내의 광물들이 갖는 특성(이한영, 1995; 윤성호 등, 1998)과 유사하다. 또한 캄차카 만 및 오키-도고섬의 화산암으로부터 온 포획암의 광물학적 특성(Abe et al., 2003; Arai et al., 2003) 및 알파인형 초염기성암체인 노스캐롤라이나 내의 염기성-초염기성암 복합체(Meen, 1988)와 일치한다.

Abe et al. (2003)는 오키-도고섬의 알칼리 현무암내의 포획암들이 높은 마그네슘비의 감람석($Fe_{0.86-0.89}$)과 사방휘석(87-90 $Mg^{\#}$)을 가지며, Arai et al. (2003)는 캄차카의 아바체 화산암의 하즈버자이트 포획암이 높은 Ni 조성 및 포스테라이트($Fe_{0.86-0.89}$), 앤스테타이트, 다이옵사이드 조성을 보임을 지적했다. 노스캐롤라이나 부루리지 지역의 초염기성암 연구 결과(Lipin, 1984; Meen, 1988)도 높은 포스테라이트($Fe_{0.84-0.96}$) 조성의 감람석 및 $Mg^{\#}$ 의 사방휘석, 변성과정 중 재평형을 이루는 알파인형 크로마이트 조성 경향내의 크로마이트 존재를 보여주고 있다.

넷째 지화학적 측면에서 연구지역의 대부분 암석들은 낮은 SiO_2 , 결핍된 알칼리 원소 함량, 낮은 알칼리 토금속원소의 함량변화, 높은 전이원소 함량 및 $Mg^{\#}$,

그리고 결핍된 비호정성원소 함량 특성을 보였다. 이런 것은 홍성 인접 초염기성암(Wee *et al.*, 1994; Song *et al.*, 1997; 송석환과 송윤섭, 2001)과 오키-도고섬의 포획암의 화학적 특성(Abe *et al.*, 2003), 동부 알프스 지역(Melcher *et al.*, 2002)과 노스캐롤라이나의 알파인형 초염기성암체 결과치(Swanson, 1981; Raymond, 2002)와 유사하다.

동부 알프스, 오스트리아 지역 연구(Melcher *et al.*, 2002)에서 레조라이트 암체의 경우 높은 $Mg^\#$ (88-91), Ni(1543-2037 ppm), Cr(1767-2767 ppm) 원소 함량, 낮은 K_2O (0.01-0.09 wt.%), Na_2O (0.06-0.23 wt.%), 넓은 범위의 Sr(1-20 ppm), Ba(2.6-15 ppm) 함량을 보였다. 노스캐롤라이나의 부부리지의 변성 페리도타이트도 매우 높고 제한적인 범위의 $Mg^\#$, Al_2O_3 , CaO와 같은 알칼리 원소의 매우 낮은 함량을 보였다(Raymond, 2002).

하지만 홍성 및 광천 지역 초염기성암들은 동부 알프스의 알파인형 초염기성암체(Melcher *et al.*, 2002), 알칼리 현무암내의 초염기성암 포획암 연구들(Griffin *et al.*, 1988; Jochum *et al.*, 1989) 및 전 세계적인 함침정석 레조라이트 평균치(McDonough, 1990)의 비호정원소 함량 및 근원 맨틀조성치로 표준화한 빈도결과에서 두드러진 차이를 보인다. 또한 OIB와 MORB(Sun and McDonough, 1989)의 원소 함량과 어떤 상관성을 보이지 않는다(Fig. 5).

전체적으로 알파인형 암체 및 교대작용을 받은 초염기성 포획암들은 비호정원소들에서 부화되었거나 LFSE(e.g., Rb, K, Ba, Sr)가 넓은 범위의 함량 값을 보이고 근원 맨틀조성치로 표준화한 비호정원소의 빈도결과에서 다양한 변화를 보인다(Griffin *et al.*, 1988; Jochum *et al.*, 1989). 전 세계적인 함침정석 레조라이트의 평균치도 근원맨틀 조성치에 비해 부화된 LFSE 함량을 보인다(McDonough, 1990).

하지만 홍성 및 광천지역의 암체들은 위 연구들에 비해 비호정원소 함량에서 낮고 제한적인 값을 보이고 있다. 특히 희토류 원소 함량에서 일부 LREE를 제외한 대부분 원소에서 근원 맨틀조성치에 비해 결핍된 함량 빈도를 보였는데 이는 연구 지역의 초염기성 암체들이 결핍된 맨틀기원임을 지시한다.

7.2. 변질 및 변성 작용

알파인형 초염기성암의 연구들은 이 암석이 지표면에 정치 또는 관입 과정 또는 후에 많은 변성 및 변질 작용을 받았음을 언급하고 있다(Pakdang, 1984;

Dymek *et al.*, 1988; Raymond, 2002). 연구 지역의 홍성 및 광천 지역 초염기성 암체도 다양한 시기의 변질 및 변성 역사의 흔적을 보이는 바 본 연구에서는 상관계수 및 지질온도계로 접근해 보았다.

변질 정도를 알아보기 위한 전암 분석치의 상관계수 계산 결과 정의 관계가 Sr-MgO, Sr-Sc, Sr-V, Sr-Zn 쌍, Al_2O_3 -Sc, Al_2O_3 -V, Al_2O_3 -Zn 쌍, 부의 관계가 Al_2O_3 -Ni 쌍, Ni-Sc 쌍에서 나타났다(Table 2, Fig. 4). 이는 사문암화가 진행됨에 감람석이 감소되고 트레모라이트 계열의 각섬석이 증가 된다는 것을 암시한다. 하지만 MgO-FeO, Cr-Co, Cr-Ni 쌍들 사이의 불명확한 관계는 감람석 및 사방회석 양이 변질 정도에 따라 다양한 변화를 보이고 따라서 이것이 전암조성에 영향을 준 것으로 생각된다.

초염기성암의 변성과 관련된 온도변화를 알아보기 위해 감람석-첨정석 쌍의 지질온도계를 이용하였다. 계산 결과 전체적인 범위는 638°-780°C를 보였고 첨정석군 중 흑갈색의 첨정석과 감람석 쌍이 일반적으로 700°C 이하였던 반면 적갈색 첨정석광물의 쌍은 그 이상의 온도 범위를 보였다(Fig. 10).

대부분의 초염기성암체들과 같이 석류석이 존재한다면 압력 추적이 가능 할 것이고 사방회석-단사회석 쌍이 존재한다면 온도의 추정이 가능할 것이다. 하지만 홍성지역 초염기성암체들은 석류석 및 단사회석이 발견이 되지 않아 일반적인 온도 및 압력의 추정이 불가능하다. 따라서 연구 지역의 경우는 감람석-첨정석 쌍이 온도의 추정이 가능한 유일한 방법인 바 Fabries (1979)의 방정식을 이용하여 온도만을 계산하였다.

하지만 이런 온도 범위는 인접 비봉 및 신곡 지역 초염기성암체가 보여주는 결과치(Song *et al.*, 1997;

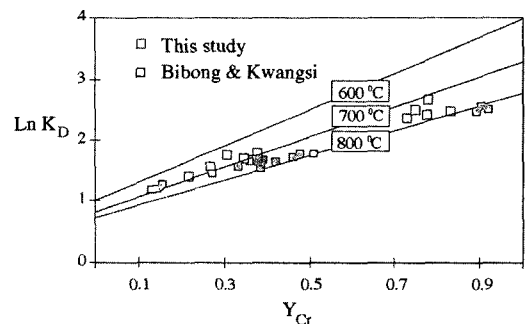


Fig. 10. Plot of $\ln K_D$ versus Y_{Cr} . $K_D = (X_{Mg}/X_{Fe})_{ol} * (X_{Mg}/X_{Fe})_{sp}$ and $Y_{Cr} = Cr/(Cr+Al)$. Solid lines are isotherms calculated from the equations of Fabries (1979). Open square for this study and filled square for Song *et al.* (1997).

우영균과 서만철, 2000; 송석환과 송윤섭, 2001) 및 노스캐롤라이나 연구(Lipin, 1984; Tenthorey *et al.*, 1996)와 유사하나 맨틀기원의 초염기성암 포획암에서 보여주는 호주 동부(Griffin *et al.*, 1984) 및 일본 남서부 섬의 결과치(Arai *et al.*, 2003)와는 차이를 보이고 있다.

기존 충남 서부 초염기성암의 연구들에서 감람석-철정석 쌍을 근거로 계산된 온도는 550°-820°C (Song *et al.*, 1997; 송석환과 송윤섭, 2001)였고 노스캐롤라이나의 부루리지 지역(Lipin, 1984)에서도 연구 지역과 유사한 700°C를 보였으며 이들 지역에 대한 이어지는 연구들도 비슷한 결과(Tenthorey *et al.*, 1996)를 보였다. 하지만 위 결과는 호주 동부 알칼리 현무암내 초염기성암의 계산치인 850°-1200°C, 일본의 남서부 오카노고섬의 화산암내 결과치인 900°-1300°C와는 커다란 차이를 보였다.

이런 차이는 연구 지역 초염기성암이 지시하는 온도는 맨틀기원의 초염기성암에서 지시하는 온도범위라기 보다는 노스캐롤라이나의 부루리지 대 내 초염기성암의 경우(Lipin, 1984)와 같이 변성과정 중 재평형을 이룬 온도 범위를 지시한다고 생각된다. 즉 연구 지역의 초염기성암체의 계산된 온도 범위는 이 암체가 낮은 녹색편암상에서 각섬암상에 해당되는 온도범위에서 변성과정을 받았음을 암시한다.

7.3. 성인

앞에서 언급한바와 같이 홍성 및 광천지역 초염기성암체의 전체적인 특징은 전형적인 지구조적으로 지표면에 노출된 알파인형 초염기성암 특징(Moores and MacGregor, 1972; Hoogerduijn *et al.*, 1993; Rampone *et al.*, 1995)과 유사하다.

알려진 바와 같이 기존의 알파인형 초염기성암의 연구들은 이 암석의 성인을 야외산상, 광물학적, 지화학적 특징에 따라 크게 3 부류인, 1) 마그마 분화(Maaloe and Steel, 1980; Casey *et al.*, 1983; Irifune and Ringwood, 1987; Bodinier, 1988), 2) 천부 맨틀 관(Den, 1969; Nicolas, 1989; Raymond, 2002), 3) 심부 맨틀 판/맨틀 다이아피어(Loomis, 1972; Dymek *et al.*, 1988; Raymond, 2002) 형으로 나눈다.

이를 각각을 살펴보면 첫째로 마그마 분화 형은 마그마의 분화에 기인한 것으로 따라서 초염기성암 주변에 염기성에서 산성에 이르는 다양한 분화물과 공존하며 일부 암체에서는 근원 층(primary layering) 및 엽리 구조를 형성한다. 광물로는 사방휘석, 단사휘석, 감

람석, 활석, 사장석, 녹리석, 각섬석, 투각섬석 등을 포함하며 화성기원의 잔류 조직으로 반자형-입상, 오피틱, 휘록암상, 누적(cumulate)조직 등을 보인다. 특징적으로 이 초염기성 암체는 전암 및 사방휘석에서 낮은 알루미늄 함량을 보이며 보통은 오파올라이트의 기저누적(basal cumulate) 단면을 이룬다.

두 번째의 천부 맨틀 판 형은 상부맨틀의 파편이 지각내부로 단층과정을 통해 나타난 것으로 야외에서 등사습곡, 유동층(flow layering), 엽리 등의 지질 구조를 보이고 압쇄대에서 연성의 특징을 보인다. 이 유형은 레조라이트와 하즈버자이트가 가장 일반적인 암상으로 전암 및 광물(특히 감람석 및 휘석)에서 높은 마그네슘비의 값을 보인다. 일반적인 천부 맨틀 판 유형은 해양 지각이 육지 지각 안으로 오브다트(obduct) 될 때 오파올라이트 수직 단면 중 하부를 구성한다.

그 외에도 충돌하는 대륙 지각들 사이에서 트러스트에 의해 상부로 이동한 맨틀파편의 경우가 있다. 이런 암석들은 원생입상, 등립질-모자이크 조직, 등립질-판상, 잔쇄 반상, 압쇄암상 조직 등과 같은 넓은 범위의 구조 석리를 갖는다.

세 번째 심부 맨틀 판/맨틀 다이아피어 형태는 함석류석 휘록암 및 페리도타이트, 함철정석 페리도타이트 조성을 보이며 다양한 유형의 레조라이트가 산출되기도 한다. 이들 페리도타이트는 전암 조성에서 다른 알파인형 초염기성 암보다 높은 알루미늄함량을 보이며 휘석 및 철정석에서도 높은 알루미늄 함량을 보인다. 이 외에 감람석 및 사방휘석은 높은 마그네슘 함량을 보이며 전형적으로 잔쇄 반상 조직을 보이며 고온에서 정지되다 보니 접촉변성후광을 형성 한다. 이런 특징이 주변암과의 구조적 관계, 암체 내부의 구조, 광물과 전암 조성에서 나타나고 있다. 내부 구조로는 유동층, 엽리, 선구조 등이 있다.

홍성 및 광천지역 초염기성암은 단층 접촉을 하고 주변암으로 팽창된 암맥이 없으며 냉각주변 및 접촉변성작용 흔적을 보이지 않는다. 경하에서 원생입상 및 등립질-모자이크 조직을 보이며 감람석, 사방휘석, 철정석을 주로 포함하고 단사휘석이 발견되지 않는 듀나이트 및 하즈버자이트이다. 그리고 광물 조성에서 높고 하지만 제한적인 범위의 마그네슘 함량의 감람석 및 사방휘석을 보이고 전암 조성에서의 높은 마그네슘비 및 전이원소 함량, 낮은 Al₂O₃ 함량을 보였다.

이런 전체적인 특징은 홍성 및 광천지역 초염기성암이 천부 맨틀 판 형 초염기성암과 유사한 것으로 생각되게 한다.

8. 결 론

1) 홍성 및 광천 지역의 초염기성암은 격리된 안구 상암체들로서 이 지역에 우세하게 나타나는 주 구조선 방향인 NNE 방향으로 주변암인 선캄브리아기의 변성 퇴적암류와 거의 수직단층으로 접하고 산출된다. 이 암석들은 완전히 또는 부분적으로 사문암화 및 활석화 되었는데 두 지역 중 광천 지역 암체는 거의 완전히 변질되어 SP(Serpentinized Peridotite)형이 우세하다.

2) 이 초염기성암은, 듀나이트 또는 하즈버자이트로 등질질-모자이크조직 및 원생입상조직을 우세하게 보이며 부분적으로는 잔쇄반상조직을 보이기도 한다. 구성 광물은 높은 포스테라이트의 감람석 (Fo_{0.91-0.93}), 엔스테타이트에서 브론자이트 조성의 사방휘석, 트레모라이트-마그네시오 각섬석 및 투각섬석을 주로 포함하고, 크로마이트 조성의 침정석, 리자다이트 및 크리스타일 조성의 사문석, penninite 조성의 녹리석, Ni-황화 광물, 방해석, 자철석, 활석 등을 포함하기도 한다.

3) 지화학적으로 이 암석은 높은 마그네슘비 (Mg# > 89) 및 전이 원소(대부분이 Ni > 1716 ppm, Cr > 1789 ppm, Co > 79 ppm) 함량과 낮은 알칼리 원소함량 (Na₂O < 0.19 wt.%, K₂O < 0.09 wt.%, CaO < 2.17 wt.%) 및 결핍된 불호정성원소들의 빈도를 보인다. 한편 초염기성암 부류 중 SP 형은 PD 형에 비해 LFSE가 부화된 빈도치를 보인다.

4) 전암조성치에 대한 상관관계수 결과는 사문암화가 진행됨에 감람석이 감소되고 트레모라이트 계열의 각섬석이 증가 된다는 것을 암시한다.

5) 암석에서 계산된 지열온도와 광물조합은 이 암석이 녹색편암상에서 각섬암상에 해당되는 온도범위에서 변성작용을 받았음을 암시한다.

6) 연구 지역 초염기성암들의 야외형상, 암석학적, 지화학적, 광물학적 결과들은 전 세계의 초염기성암들의 결과들과 유사하며 특히 전 세계 지구조적으로 노출된 알파인형 초염기성암 중 천부 맨틀 판 형과 유사하다. 하지만 연구 지역 암체들의 결핍된 비호정원소 함량, 좁은 범위의 LFSE 함량 변화, 근원 맨틀 조성치에 비해 결핍된 REE 빈도는 연구 지역의 암체가 결핍된 맨틀기원임을 암시한다.

사 사

본 논문을 위해 세밀한 검토와 아낌없는 의견을 제시 해주신 길영우 심사위원과 양경희 심사위원께 진심

으로 감사드립니다. 또한 1997년도 기초과학 지원연구소의 연구비 지원을 부분적으로 받았음에 사의를 표한다.

참고문헌

강필중, 임주환 (1974) 한국지질도 1: 50,000 광정지질 도록. 국립지질조사소.
 김규한, 박재경, 양종만, Hiroshi Satake (1993) 울산 철광산지역 사문암의 사문암화작용에 관한 연구. 광산지질, 26권, p. 267-278.
 김규한, 박재경, 양종만, Yoshida Naohiro (1990) 울산 철광산의 탄산염과 사문암의 성인. 지질학회지, 26권, p. 407-417.
 김봉균, 이하영, 김수진, 정지곤 (1988) 한국지질도 1: 50,000 안동지질도 및 설명서. 한국동력자원연구소.
 박양대, 윤형대 (1968) 한국 지질도 1: 50,000 울산 도록. 국립지질조사소.
 서만철, 우영균, 송석환, Hao Tianyao (2000) 충남 지역 초염기성 암체의 지구 물리적 연구: 탄성과 속도 특성. 한국지구과학회지, 21권, p. 349-358.
 송석환, 송윤섭 (2001) 충남 서부 신곡 지역에 분포하는 초염기성암의 광물 조성 및 지구화학. 자원환경지질, 34권, p. 395-415.
 엄상호, 이민성 (1963) 한국지질도 1: 50,000 대흥지질도 록 및 설명서. 국립 지질조사소.
 우영균, 서만철 (2000) 충남지역 초염기성암체의 암석학적 연구. 지구과학회지, 21권, p. 323-336.
 우영균, 최석원, 박기화 (1991) 충남 예산지구 활석광산의 성인에 대한 연구. 광산지질, 24권, p. 363-378.
 윤성효, 고정선, 안지영 (1998) 제주도 동부 알칼리 현무암내 스피넬-레조라이트 포획체의 연구. 자원환경지질, 31권, p. 447-458.
 이상현, 최기주 (1994) 대흥 활석 광상 주변의 편마암류의 지화학적 특징과 공존광물의 화학적 평형. 암석학회지, 3권, p. 138-155.
 이종혁, 김성수 (1963) 한국지질도 1: 50,000 홍성지질도 록 및 설명서. 국립지질조사소.
 이한영 (1995) 남한의 알칼리 현무암에 분포하는 맨틀포획암의 암석화학적 연구: 상부맨틀의 온도 및 압력 추정. 암석학회지, 4권, p. 104-123.
 지정만, 김규봉, (1977) 사문석의 활석화 과정에 관한 연구. 광산지질, 10권, p. 75-92.
 최수용, 황진연, 김정진, 이윤종. (1990) 울산사문암체의 광물학적·지구화학적 연구, 지질학회지, 26권, p. 105-118.
 황진연, 김정진, 옥수석, (1993) 안동 사문암광상의 구성광물 및 성인에 대한 연구. 광산지질, 26권, p. 267-278.
 Abe, N., Takami, M. and Arai, S. (2003) Petrological feature of spinel lherzolite xenolith from Oki-Do Island: An implication for variety of the upper mantle peridotite beneath southwestern Japan. The Island Arc, v. 12, p. 219-232.
 Agata, T. (1988) Chrome spinels from the Oura layered igneous complex, central Japan. Lithos, v. 21, p. 350-375.
 Arai, S., Ishimaru, S. and Okrugin, VM. (2003) Metasomatized hazburgite xenoliths from Avache volcano as fragments of mantle wedge of the Kamchatka arc: Implication for the metasomatic agent. The Island Arc, v. 12, p. 233-246.

- Babalonas, D., Karataglis, S. and Kabassakaalis, V. (1984) The ecology of plant populations growing on serpentine soils. III Some plant species from the North Greece in relation to the serpentine problem. *Phyton*. (Austria), v. 24, p. 225-238.
- Bailey, S.W. (1988) X-ray diffraction identification of polytypes of mica, serpentine and chlorite. *Clay Miner.*, v. 36, p. 193-213.
- Banerjee, P.K. (1972) Geology and geochemistry of Sukinda ultramafic field, Cuttack District, Orissa. *Mem. Geol. Surv. India*, v. 103, p. 11-19.
- Beeson, M.H. and Jackson, E.D. (1969) Chemical composition of altered chromites from the Stillwater Complex, Montana. *Amer. Mineral.*, v. 54, p. 1084-1100.
- Berazain, I.R. (1976) Estudio preliminar de la flora serpentinicola de Cuba. *Ciencias Ser. 10. Botanica*, v. 12, p. 11-26.
- Bodnier, J.L. (1988) Geochemistry and petrogenesis of the Lanzo peridotite body, western Alps. *Tectonophy.*, v. 149, p. 67-88.
- Bodnier, J.L., Dupuy, C. and Dostal, J. (1988) Geochemistry and petrogenesis of eastern Pyrenean peridotites. *Geochem. Cosmochim. Acta.*, v. 52, p. 2893-2907.
- Brooks, R.R. (1987) Serpentine and its vegetation; A multidisciplinary approach. *Dioscorides Press*. Portland, 454p.
- Brooks, R.R., Lee, J., Reeves, R.D. and Jaffre, T. (1977) Detection of nickeliferous rocks by analysis of herbarium specimens of indicator plants. *J. Geochem. Explor.*, v. 7, p. 49-57.
- Casey, J.F., Karson, J.A., Elthon, D., Rosencrantz, E. and Titus, M. (1983) Reconstruction of geometry of accretion during formation of the bay of Islands ophiolite complex. *Tectonophy.*, v. 116, p. 509-528.
- Den, T.E. (1969) Origin of ultramafic rocks, their tectonic setting and history: A contribution to the discussion of the paper "The origin of ultramafic and ultrabasic rocks" by P. J. Wyllie. *Tectonophy.*, v. 7, p. 457-488.
- Dick, H.J.B. and Bullen, T. (1984) Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and Alpine-type peridotites and spatially associated lavas. *Contrib. Miner. Petrol.*, v. 86, p. 54-76.
- Dymek, R.F., Brothers, S.C. and Schiffries, C.M. (1988) Petrogenesis of ultramafic metamorphic rocks from 3800 Ma Isua supracrustal belt, western Greenland. *J. Petrol.*, v. 29, p. 1353-1397.
- Fabries, J. (1979) Spinel-olivine geothermometry in peridotites from ultramafic complexes. *Contrib. Miner. Petrol.*, v. 69, p. 329-336.
- Frey, F.A. (1969) Rare earth abundances in a high-temperature peridotite intrusion. *Geochem. Cosmochim. Acta.*, v. 33, p. 1429-1447.
- Frey, F.A., Suen, C.J. and Stockman, H.W. (1985) The Ronda high temperature peridotite: Geochemistry and Petrogenesis. *Geochem. Cosmochim. Acta.*, v. 49, p. 2469-2491.
- Goding, H. G. and Bayliss, P. (1968) Altered chrome ores from the Coolac serpentinite belt, New South Wales, Australia. *Amer. Mineral.*, v. 53, p. 162-183.
- Griffin, W.L., O'Reilly S.Y. and Stabel, A. (1988) Mantle metasomatism beneath western Victoria, Australia: II. Isotopic geochemistry of Cr-diopside lherzolites and Al-augite pyroxenite. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 52, p. 449-460.
- Griffin, W.L., Wass, S.Y. and Hollis, J.D. (1984) Ultramafic xenoliths from Bullenmerri and Gnotuk Maars, Victoria, Australia: Petrology of sub-continental crust-mantle transition. *J. Petrol.*, v. 25, p. 53-89.
- Hess, H.H. (1955) Serpentes, orogeny and epiorogeny. In Polervaart, A. (ed.) *Crust of the Earth*. Geol. Soci. Amer. Spec. Pap., no. 62, p. 391-407.
- Hey, M.H. (1954) New review of chlorites. *Miner. Mag.*, v. 30, p. 277-292.
- Hoogerduijn, S.E.H., Rampone, E., Piccardo, G.B., Drury, M.R. and Vissers, R.L. (1993) Subsolidus emplacement of mantle peridotites during incipient oceanic rifting and opening of the Mesozoic Tethys (Voltri Massif, NW Italy). *J. Petrol.*, v. 34, p. 901-927.
- Humphries S.E. (1984) The mobility of the rare earth elements in the crust. In Henderson P.(ed.) *Rare earth element geochemistry*. Elsevier, Amsterdam. p. 315-341.
- Igoshina, K.N. (1966) Specificity of the flora and vegetation of ultramafic rocks in the Polar Ural (In Russ). *Bot. Zuhur.*, v. 51, p. 322-338.
- Irfune, T. and Ringwood, A.E. (1987) Phase transformations in a dynamical behavior of the subduction slab. *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 86, p. 367-376.
- Jackson, I. (1991) The petrological basis for the interpretation of seismological models for continental lithosphere. In Drummond, B.J. (ed.) *The Eastern Australian lithosphere*. Geol. Soc. Aust. Spec. Pub., v. 17, p. 81-114.
- Jackson, I. and Arculus, R.J. (1984) Laboratory wave velocity measurements on lower crustal xenoliths from Calcutteroo, South Australia. *Tectonophy.*, v. 101, p. 185-197.
- Jackson, I., Rudnick, R.L., O'Reilly, S.Y. and Bezant, C. (1990) Measured and calculated elastic wave velocities for xenoliths from the lower crust and upper mantle. *Tectonophy.*, v. 173, p. 207-210.
- Jochum, K.P., McDonough, W.F., Palme, H. and Spettel, B. (1989) Compositional constraints on the continental lithospheric mantle from trace elements in spinel peridotite xenoliths. *Nature*, v. 340, p. 548-550.
- Kruckberg, A.R. (1984) *California serpentines; Flora, vegetation, Geology, Soils, and Management problems*. Univ. Calif. Press, Berkeley.
- Lipin, B.R. (1984) Chromite from the Blue Ridge province of North Carolina. *Amer. J. Sci.*, v. 284, p. 507-529.
- Loomis, T.P. (1972) Diapiric emplacement of the Ronda high-temperature ultramafic intrusion, southern Spain. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, v. 83, p. 2475-2496.
- Maaloe, S. and Steel, R. (1980) Mantle composition derived from the composition of lherzolites. *Nature*, v. 285, p. 321-322.
- Malyuga, D.P. (1964) *Biochemical Prospecting for Minerals*. Consultants Bureau, New York.
- McDonough, W.F. (1990) Constraints on the composition of the continental lithospheric mantle. *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 101, p. 1-18.
- Meen, J.K. (1988) Mineral chemical variations in the

- Lake Chatuge Mafic-Ultrabasic Complex North Carolina-Georgia: The P-T history of rocks in the Blue Ridge. *Southeastern Geology*, v. 29, p. 1-27.
- Melcher, F., Meiser, T., Puhl, J. and Koller, F. (2002) Petrogenesis and geotectonic setting of ultramafic rocks in the Eastern Alps: constraints from geochemistry. *Lithos*, v. 65, p. 69-112.
- Meiser, T., Melcher, F., Tomascak, P., Dingeldey, C. and Koller, F. (1997) Re-Os isotopes in orogenic peridotite massifs in the Eastern Alps, Australia. *Chemical Geology*, v. 143, p. 217-229.
- Menezes, S.E. (1969) Toxicity and movement of heavy metals in serpentine soils (North-eastern Portugal). *Agron. Lusit.*, v. 30, p. 13-76
- Moore, E.M. and MacGregor, I.E. (1972) Types of alpine ultramafic rocks and their implications for fossil plate interactions. In Shagam, R. et al. (ed.) *Studies in Earth and Space Sciences*. Geol. Soc. Amer. Mem., no. 132, p. 209-223.
- Nicolas, A. (1989) Structures of ophiolites and dynamics of oceanic lithosphere. Kluwer Academic, Dordrecht. p. 379.
- O'Reilly, S.Y. and Griffin, W.L. (1988) Mantle metasomatism beneath western Victoria, Australia: I. Metasomatic processes in Cr-diopside lherzolites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 52, p. 433-447.
- Paktung, A.D. (1984) Metamorphism of the ultramafic rocks of the Thompson mine, Thompson nickel belt, Northern Manitoba. *Canad. Miner.*, v. 22, p. 77-91.
- Peacock, S.M. (1987) Serpentinization and infiltration metasomatism in the Trinity peridotite, Klamath province, northern California: implications for subduction zones. *Contrib. Miner. Petrol.*, v. 95, p. 55-70.
- Pearce, J.A. (1983) Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: Hawkesworth C.J. and Norry, M.J.(ed.) *Continental basalts and mantle xenoliths*. Shiva, Nantwich. p. 230-249.
- Prinzhofer, A. and Allegre, C.J. (1985) Residual peridotites and mechanisms of partial melting. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 74, p. 215-265
- Rampone, E.M., Hofmann, A.W., Piccardo, G.B., Vanuggi, R., Bottazzi, P. and Ottolini, L. (1995) Petrology, mineral and isotope geochemistry of the external Liguride peridotites (Northern Apennines, Italy). *J. Petrol.*, v. 36, p. 81-105.
- Raymond, L.A. (2002) *The study of igneous, sedimentary, and metamorphic rocks*. McGraw-Hill Higher Companies Inc., New York. 720p.
- Reeves, R.D. and Brooks, R.R. (1983) Hyperaccumulation of lead and zinc by two metallophytes from a mining area of Central Europe. *Environ. Pollut.*, v. 31, p. 277-287.
- Rollinson, H.R. (1993) *Using geochemical data*. Longman Scientific & Technical, New York. 352p.
- Roy, S. (1974) Geobotany in the exploration of nickel in the ultramafics of the Sukinda Valley, Orissa. *Q. J. Geol. Min. Metall. Soc. India*. v. 46, p. 251-256.
- Rune, O. (1953) Plant life on serpentine and related rocks in the north of Sweden. *Acta. Phytogeogr. Suec.*, v. 31, p. 1-139.
- Schmadicke, E. and Evans, B.W. (1997) Garnet bearing ultramafic rocks from the Erzgebirge and their relation to other settings in the Bohemian Massif. *Contrib. Miner. Petro.*, v. 127, p. 57-74.
- Seewald, J.S. and Seyfried, W.E. (1990) The effect of temperature on metal mobility in subseafloor hydrothermal systems; constraints from basalt alteration experiments. *Earth Planet. Sci. Lett.* v. 101, p. 388-403.
- Sommers, S. (1984) Serpentine flora in California-Edge-wood Park. *Fremontia*. v. 11, p. 19-20.
- Song, S.H., Choi, S.G. and Woo, J.G. (1997) Genetic implications of ultramafic rocks from the Bibong area in the Kyeonggi gneiss complex. *Econ. Environ. Geol.*, v. 30, p. 477-491.
- Song, Y. and Moon, H.S. (1991) Supergene chloritization and vermiculitization in hornblende gneiss, the Cheongyang area. *J. Korean Inst. Mining Geol.*, v. 24, p. 233-244.
- Spell, T.L. and Norrell, G.T. (1990) The Ropes Creek assemblage: Petrology, geochemistry, and tectonic setting of an ophiolitic thrust sheet in the southern Appalachians. *Amer. J. Sci.*, v. 290, p. 811-842.
- Sun, S.S. and McDonough, W.F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In Saunders, A. D. and Norry, M. J. (ed.) *Magmatism in the Ocean Basins*. Geol. Soc. Spec. Publ., no. 42, p. 313-345.
- Susuki, J. (1952) Ultrabasic rocks and associated ore deposits of Hokkaido Japan. *J. Fac. Sci. Hokk. Univ. Ser. IV*, v. 8, p.175-210
- Swanson, S.E. (1981) Mineralogy and petrology of the Day Book dunite and associated rocks, western North Carolina. *Southeastern Geol.*, v. 22, p. 53-77.
- Tenthorey, E.A., Ryan, J.G. and Snow, E.A. (1996) Petrogenesis of sapphirine-bearing metatroctolites from the Buck Creek ultramafic body, southern Appalachians. *J. Mineral. Mag.*, v. 14, p. 103-114.
- Trommsdorff, V., Sanchez-Vizcaino, V.L., Gomez-Pugnaire, M.T. and Muntener, O. (1998) High pressure breakdown of antigorite to spinifex-textured olivine and orthopyroxene, SE Spain. *Contrib. Miner. Petrol.*, v. 132, p. 139-148.
- Varfalvy, V., Hebert, R. and Bedard, J.H. (1996) Interactions between melt and upper-mantle peridotites in the North Arm Mountain massif, Bay of Islands ophiolite, Newfoundland, Canada: Implications for the genesis of boninitic and related magmas. *Chemical Geol.*, v. 129, p. 71-90.
- Wee, S.M., Choi, S.G. and So, C.G. (1994) Preliminary Study on Ultramafic Rocks from the Chungnam Province, Korea. *Econ. Environ. Geol.*, v. 27, p. 171-180.
- Whittaker, E.J.W. and Wicks, F.J. (1970) Chemical differences among the serpentine "polymorphs": A discussion. *Amer. Miner.*, v. 55, p. 1025-1047.