

## 충남지역 초염기성암체의 암석학적 연구

우영균<sup>1</sup> · 서만철<sup>1</sup>

<sup>1</sup>공주대학교 자연과학대학 지질환경과학과, 314-701 충남 공주시 신관동 182

### Petrological Study on the Ultramafic Rocks in Choongnam Area

Young-Kyun Woo<sup>1</sup> · Man-Cheol Suh<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Geoenvironmental Science, Kongju National University,

Kongju 314-701, Korea

**Abstract:** Ultramafic rocks in Choongnam area are mainly serpentinites which are parent rock of talc and asbestos ore deposits. About 10° NNE-trending parallel serpentinites masses occur as discontinuous isolated lenticular intrusive bodies in Precambrian gneiss complex between Hongseong-Kwangcheon line and Onyang-Cheongyang line. The sizes of serpentinites vary from several centimeters to 1 kilometer in width and from several meters to 5 kilometers in length. The serpentinites show high SiO<sub>2</sub>(39.99wt.% in average), MgO(38.46wt.% in average), Cr(>1011ppm), Ni(>1660ppm), and Co(>80ppm). Most serpentinites contain serpentine more than 50%. Some serpentinites contain original minerals such as olivine, pyroxene and chromite. Also, serpentinites body may contain a little serpentinized peridotite, and some talc and asbestos ore deposits. The original rocks of the serpentinites interpreted as Alpine type ultramafic rocks, and dunite and/or harzburgite which were originated from slightly depleted upper mantle(30~40km deep), and emplaced in the crust through the large fault zones. It seems that main serpentinization from the original rocks was occurred during greenschist and/or amphibolite facies regional metamorphism in Choongnam area.

**Key words:** Ultramafic rock, serpentinite, peridotite, serpentinization

**요약:** 충남지역의 초염기성암체는 주로 활석과 석면광상의 모암을 이루는 사문암체로서 홍성-광천과 온양-유구-청양을 연결하는 선 내부의 선캄브리아기 편마암복합체내에서 북북동 방향에 따라 단속적으로 평행하게 발달하는 10여개조의 렌즈상 관입암체들이다. 사문암체의 규모는 폭 수십 cm~1km, 연장 수 m~5km로서 곳에 따라 그 규모가 다양하다. 이 사문암들은 주로 SiO<sub>2</sub>(평균 39.99wt.%)와 MgO(평균 38.46wt.%)로 구성되었고, Cr(1011ppm), Ni(1660ppm) 및 Co(80ppm)의 함량이 많다. 이 사문암들은 주로 사문석의 양이 50% 이상인 것이 대부분이며, 부위에 따라 기원암의 잔류광물인 감람석과 휘석, 크롬철석 등이 발견되는 데 사문암체 내에는 부분적으로 이들 잔류광물의 함량이 50% 이상 되는 사문석화감람암과 활석 및 석면광체를 포함한다. 충남지역 사문암의 기원암은 알파인형 초염기성암으로서 약간 결핍된 상부 맨틀(깊이: 30~40km) 기원의 더나이트 내지 해즈버자이트였으며, 대규모 단층을 따라 상승한 것으로 해석된다. 이들 사문암의 기원암으로부터의 주 사문석화작용은 충남지역에서 일어난 녹색편암상 내지 각섬암상의 광역변성작용시에 일어난 것으로 해석된다.

**주요어:** 초염기성암, 사문암, 감람암, 사문석화작용

## 서론

초염기성암체는 전세계적으로 비교적 한정된 지역에 소규모로 분포되어 있으며 우리나라에서도 그 분포가 매우 희귀하여 충남, 경북, 경남 등지에 소규모로 분포한다. 충남지역의 초염기성암체는 주로 사문암체로서 이들은 활석, 석면 및 사문석광상으로 개발되어 왔다.

국외에서의 초염기성암에 대한 연구를 살펴보면, 과

거에는 주로 초염기성암 기원의 자원, 즉 활석, 석면 및 금강석 등을 찾기 위하여 조사·연구되었으나(Francis, 1956; Anhaeusser, 1976), 근래에는 주로 초염기성암체의 기원과 성인, 하부지각과 상부맨틀의 성질 및 진화 과정, 그리고 지구조적 관점에서의 해석에 대한 연구가 집중적으로 수행되고 있다(Colemann, 1971; Moores and MacGregor, 1972; Griffins *et al.*, 1984; Nicolas, 1986; O'Reilly *et al.*, 1990; Dymek *et al.*, 1988; Jackson

et al., 1990; Rampone et al., 1995). 국내에서의 충남지역 초염기성암인 사문암기원의 활석 및 석면광상에 대한 연구는 대한광업진흥공사(한국의 광상 1981, 1988; 광상시추조사보고, 1985-1989), 김규봉(1972), 지정만·김규봉(1977), 윤상필 외(1994) 및 Kim et al.(1997)에 의해 이루어져 왔다. 그리고 초염기성암 자체에 대한 연구는 비교적 적어서 Wee et al.(1994), 송운구(1995), 최성호(1995), Song et al.(1997)에 의하여 기초적인 연구가 수행되었다. 그러나 초염기성암체는 그 규모가 작아서 기존 1/5만 지질도에는 거의 나타나지 않으므로 본연구자들은 1990년부터 현재까지 기존 광상자료를 근거로 충남 지역에 분포된 사문암기원의 활석, 석면 및 사문석광상과 사문암체의 위치를 찾아내어 광상의 성인뿐만 아니라 사문암체에 대한 암석학적 연구를 꾸준히 수행해 오고 있다(우영균 외, 1991; 우영균·이동우, 1993; 조용현, 1993; 류정렬, 1993; 우영균, 1995, 1996; 박종삼, 1997; 강혜선, 1997; 서동옥, 1998; 김종부, 1998; 임학수, 1998).

이 연구의 목적은 충남지역에 분포된 초염기성암체들의 각 광상별 정밀 야외지질조사를 통하여 주변암과 초염기성암체와의 관계, 초염기성암체의 산출상태, 조직, 구성광물 및 변질과정 등을 파악하여 그 생성과정을 밝히고, 지구조적인 해석의 기초 자료를 마련하는데 있다.

### 충남 초염기성암 분포지역의 지질개요

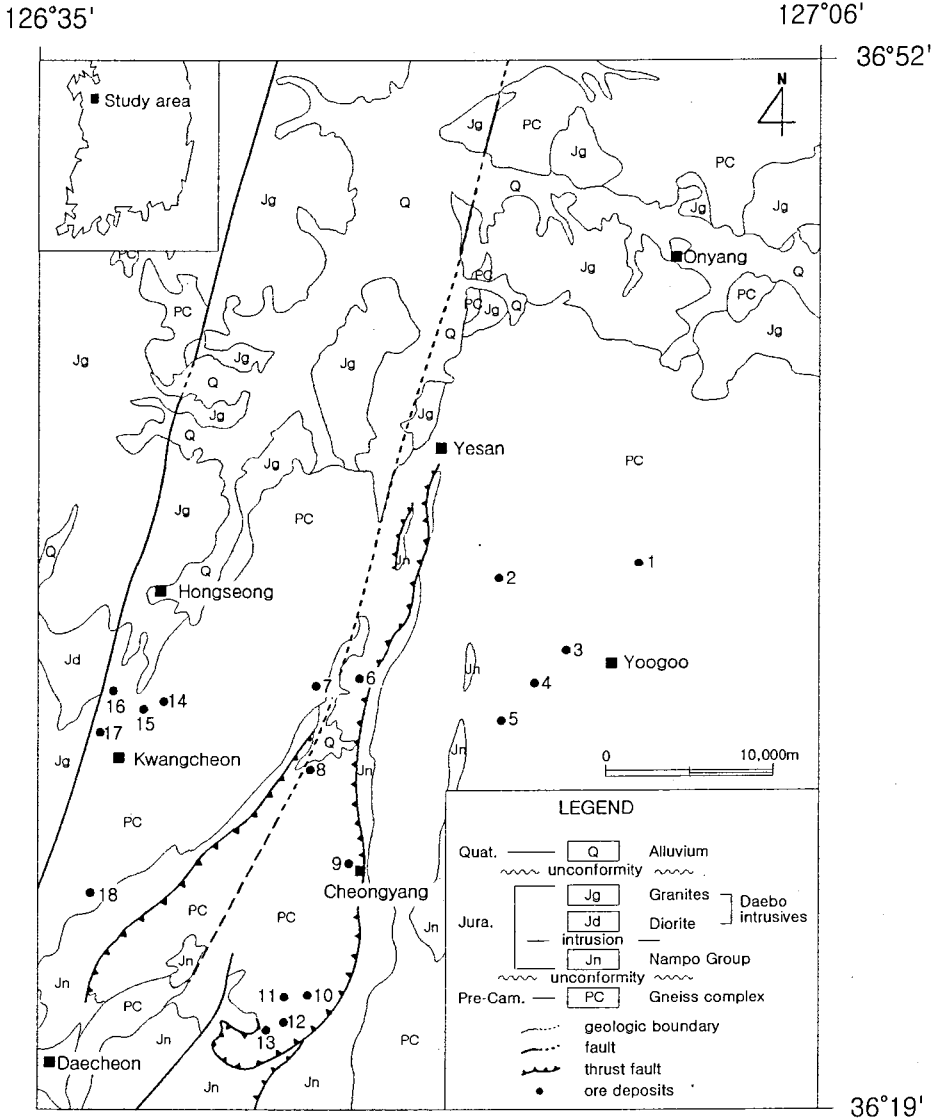
충남지역의 초염기성암체는 주로 사문암기원의 활석 및 석면광상 또는 사문석광상 지역에 분포하는 사문암체로서, 사문암체내에는 부분적으로 사문석화감람암과 활석 및 석면 광상이 포함되기도 한다. 이 사문암체가 주로 분포하는 지역은 대체로 서쪽 한계로 홍성-광천을 연결하는 선과 동쪽 한계로 온양에서 유구를 지나 청양을 잇는 선 부근을 기준으로 한 그 내부지역으로 볼 수 있다(Fig. 1).

이 지역에는 주로 선캄브리아기의 편마암복합체가 기반을 이루고 분포되어 있으며, 곳에 따라 이들을 부정합으로 덮은 쥐라기의 남포층군이 분포하거나 대포관입암류인 화강암류와 섬록암이 관입하였다. 또한, 곳에 따라 백악기의 중성암맥, 반암 및 규장암맥과 페그마타이트 암맥이 관입한 곳이 많다(Fig. 1, 2).

선캄브리아기의 편마암복합체는 크게 홍성-광천부근의 서산층군과 그 서부 및 서북부의 경기편마암복합체로 구분되는데, 이들은 녹색편암상 내지 각섬암상의 변성작용들이 중복되어 나타난다(Na, 1992). 서산층군 및 경기편마암복합체는 모두 편암 및 편마암류로 구성된 것으로서 1/5만 홍성(이종혁·김성수, 1963) 및 대홍지질도(엄상호·이민성, 1963)에서는 선캄브리아기의 월현리층과 덕정리편마암, 쥐라기의 유구편마암 및 시대미상의 화강편마암으로, 그리고 대천 및 청양 지질도(鳥村新兵衛, 1930)에서는 선캄브리아기의 운모편암 및 화강편마암으로 구분된 것이다(Fig. 2). 그런데, 이들 1/5만 지질도를 연결시켜 보면 대천 및 청양지질도의 운모편암과 화강편마암은 각각 대홍 및 홍성지질도의 월현리층 및 덕정리편마암-유구편마암과 연결되며 야외조사에서도 그 암상은 같다고 판단된다.

월현리층은 선캄브리아기의 변성퇴적암으로서 화강편마암, 화강암, 섬록암 및 장석반암의 관입을 받았으며 대체로 흑운모-각섬석편암, 각섬석편암, 규선석-녹니석편암, 함흑연흑운모편암, 흑운모-백운모편암으로 구성되어 있으나, 사문석광상부근에서는 주로 흑운모-각섬석편암이 우세하고, 사문암체와 바로 접한 부분에서는 각섬석편암이 우세하게 분포한다. 각섬석편암내에는 간혹 석영, 장석이 밀집되어 각섬석편암상을 이루는 곳도 있다. 각섬석편암은 주로 각섬석, 석영 및 사장석이 엮리에 따라 배열되어 있으며 소량의 자철석, 석류석, 흑운모등이 포함된다. 사장석은 알바이트쌍정을 보이며 많은 부분이 건운모화 되어 있다.

덕정리편마암은 경기편마암복합체에 속하는 화강편마암으로서 월현리층을 관입하고, 화강암 및 반암의 관입을 받았다. 암석은 주로 각섬석화강편마암이지만 곳에 따라 우백질화강편마암, 안구상편마암상을 보이기도 한다. 사문석광상부근에서는 주로 각섬석화강편마암으로서 다량의 석영, 사장석, 각섬석과 소량의 흑운모, 자철석, 석류석이 편마상구조에 따라 배열되어 있다. 시대미상의 화강편마암은 월현리층과 덕정리편마암을 관입하고, 화강암 및 반암의 관입을 받았다. 암석은 흑운모 화강편마암, 주입편마암 및 안구상편마암으로 구성되어 있는데, 일반적으로 조립질이며 곳에 따라 차이는 있으나 엮리의 발달이 미약한 것이 특징이다. 구성광물은 K-장석, 사장석, 석영, 흑운모가 주이며, 간혹 석류석이 포함된다. 유구편마암은 1/5만 대홍지질도에서 상부주



**Fig. 1.** Geologic map of Choongnam serpentine, talc, and asbestos ore deposits area. 1, Yoogoo(Y); 2, Cheongdang(C); 3, Nokcheon(N); 4, Pyeongan(P); 5, Daeheung(Dh); 6, Migok(M); 7, Gwangsi(G); 8, Bibong(Bb); 9, Sariul(S); 10, Daedong(Dd); 11, Myeongheung(Mh); 12, Taewon(T); 13, Booyeo(By); 14, Weolheon(Wh); 15, Wolrim(Wr); 16, Hongseong(H); 17, Kwangcheon(K); 18, Jeongjeon(J); ore deposits.

라기의 유구화강편마암으로 기재된 바 있으나, 1/25만 대전지질도(한국자원연구소, 1995)에서는 선캄브리아기의 경기편마암복합체에 속하는 것으로 정리된 바 있다. 유구편마암은 주로 엽리구조가 뚜렷한 흑운모화강편마암이지만, 암상이 다양하여 곳에 따라 안구상편마암과 흑운모편암상을 보이기도 한다. 흑운모화강편마암은 우백대와 우흑대의 구별이 뚜렷한 호상구조를 보이고, 전체적으로 회백색을 띠며, 대체로 중립 내지 조립질이다.

구성광물은 석영, 장석 및 흑운모가 주이며, 소량의 백운모가 보이기도 한다.

남포층군은 대동층군에 대비되는 하부 중생대 퇴적층으로서, 하부로부터 역암위주의 월명산층 또는 하조층, 사암, 역암, 셰일 및 석탄층으로 구성된 아미산층, 역암, 사암, 셰일로 구성된 조계리층, 사암과 셰일 및 석탄층으로 구성된 백운사층, 그리고 최상부에 역암, 사암 및 셰일로 이루어진 성주리층으로 구성되어 있다.

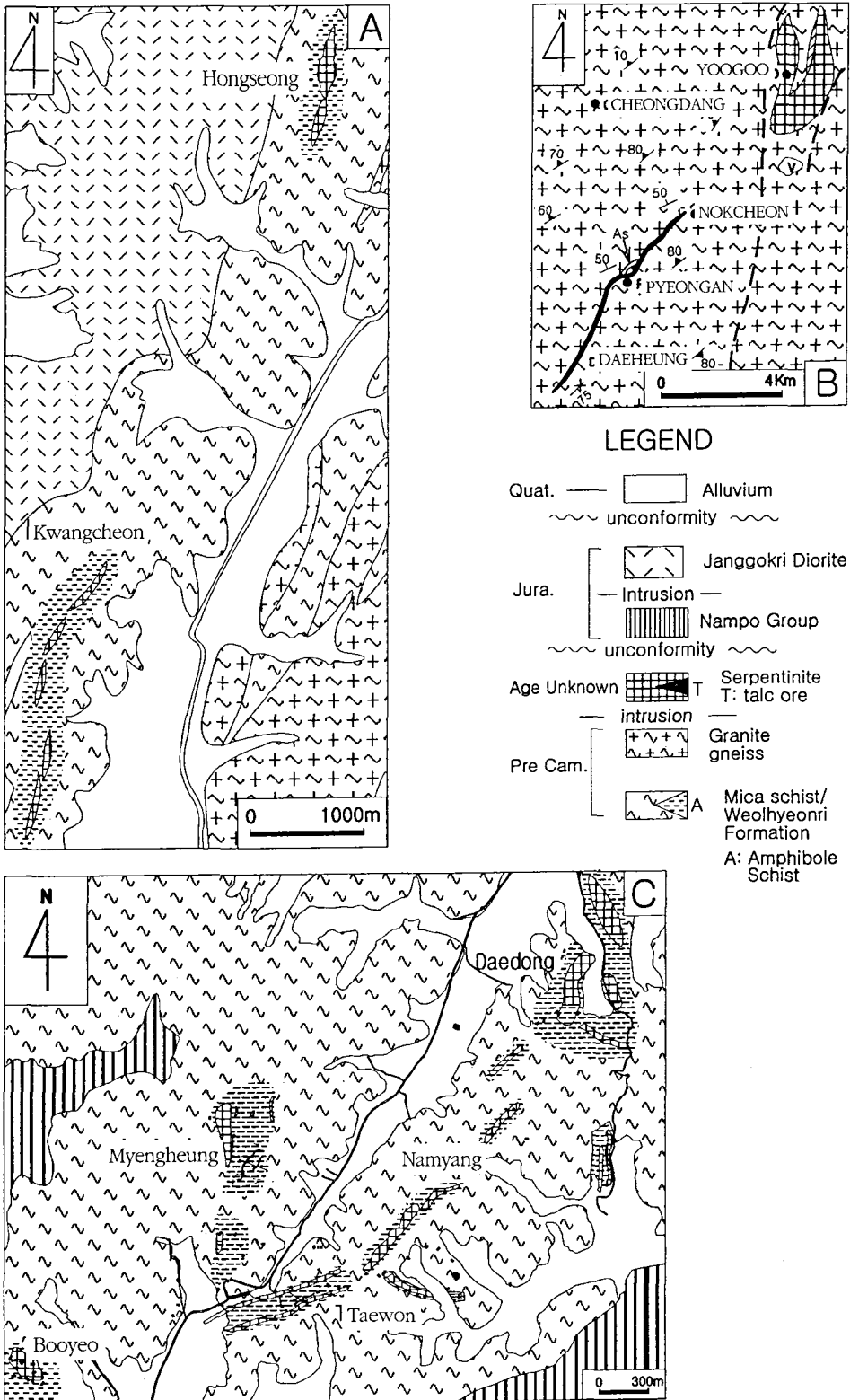


Fig. 2. Geologic map of Hongseong and Kwangcheon(A), Yoogoo-Nockcheon-Pyeongan-Daeheung and Cheongdang(B), and Daedong, Namyang, Taewon, Myeongheung, and Booyeo(C) serpentine and talc ore deposits.

이 지역의 화강암은 주로 홍성흑운모화강암으로서 상기 암석들을 모두 관입하였고, 이 화강암체의 주변부에는 반화강암이 발달한다. 홍성흑운모화강암은 주로 조립등립조직을 보이며 K-장석, 석영 및 흑운모로 구성되었다. 반화강암의 주요 조암광물은 석영과 장석이고, 이 밖에 흑운모, 백운모, 견운모 등이 포함된다. 섬록암은 홍성부근의 장곡리섬록암으로서 암주상으로 발달하는데 크게 화강암상 구조를 보이는 것과 호상구조를 보이는 것으로 구분되며, 주요 조암광물은 장석류, 각섬석 및 흑운모이고 소량의 석영과 녹니석을 포함한다.

장석반암은 주로 암맥상의 치밀 내지 세립질 담회록색 암석으로서 상기 암석을 모두 관입하였다. 구성광물은 주로 장석과 흑운모가 반정을 이루고, 석기는 미립질의 석영과 장석류의 집합체이다. 또한, 소규모의 산성 내지 염기성암맥이 곳곳에서 사문암체 및 활석광체를 관입하고 있다. 이들은 주로 담회색의 치밀한 규장암 또는 거정질화강암과 세립질의 안산암 또는 현무암질암이다.

사문암체는 선캄브리아기의 경기편마암복합체 및 산성층군을 관입하고, 백악기의 중생 및 산성암맥의 관입을 받았으나, 아직 그 생성시기를 확정짓지 못한 시대 미상의 암체이다.

한편, 이 지역의 대표적인 단층은 홍성 부근에 발달한 N15°E 내외의 주향을 가진 2~3조의 평행한 좌수향 주향이동성 대단층들이다. 한편, 대천부근에서는 선캄브리아기 변성암류와 남포층군의 경계를 따라 충상단층이 발달한다. 또한 이 지역에는 거의 남북방향의 정단층과 N30°~45°E 방향의 안행상 단층이 발달되기도 한다(한국자원연구소, 1995).

## 사문암의 암석기재

충남지역의 사문암은 광시 및 월현 사문암체와 같이 부분적으로 사문석화감람암을 포함한 것으로부터 홍성, 월림, 비봉, 싸리울 및 유구암체와 같이 비교적 신선한 사문암이 잘 보존되어 있는 것, 광천, 부여, 명홍, 태원 및 대동광상과 같이 활석화가 어느 정도 진행된 것, 그리고 정진, 청당, 평안 및 대홍활석광상과 같이 거의 활석화되어 원암을 찾아보기 힘든 것까지 다양하며, 사문암체 중에는 과거 석면광상으로 개발되던 것이 많다.

이러한 사문암 및 사문암기원의 활석 및 석면광상은

서쪽의 홍성-광천광상대(帶)로부터 동쪽의 유구-평안-대홍광상대에 이르기까지 북동 방향에 따라 단속적으로 발달한 렌즈상 관입암체로서 10여개조가 평행하게 발달되어 있다. 사문암체의 규모는 폭이 수십cm 내지 1km, 연장이 수m 내지 5km로서 곳에 따라 다양하다. 이중 비교적 규모가 큰 것은 유구지역의 유구암체-녹천-평안-대홍활석광상을 잇는 선에 따라, 청양지역의 대동-남양-태원광상, 싸리울암체-명홍-부여활석광상 및 미곡-비봉암체를 잇는 선에 따라, 그리고 홍성지역의 월현-담산목장, 월림사문암체 및 홍성-광천-경남광상을 잇는 선에 따라 단속적으로 발달하는데, 이들 연장선의 내부에도 소규모의 사문암체들이 이 선에 평행하게 발달하고 있다(Fig. 1).

이 지역 사문암체들의 발달방향은 대체로 충남지역에 발달된 NNE방향의 대단층을 비롯하여 그 부근에 발달된 단층들의 방향과 유사하다. 또한 사문암체는 주변암인 편암 및 편마암과 단층접촉을 이루고 있다. 이러한 점들은 이 사문암체들의 형성과정에서 이들 단층과의 관련성이 매우 밀접하였음을 의미한다. 한편, 주변암에서 사문암체에 의한 접촉변성작용의 흔적을 확인할 수 없었다.

한편, 사문암체에 발달된 엽리와 주변 편암 및 편마암류의 엽리의 통계치를 비교해 보면 각 광상별로 두 엽리의 주향과 경사의 분포 양상이 유사하다. 이러한 점으로 보아 이 지역 사문암들은 주변암과 함께 변성작용을 받은 것으로 해석할 수 있다.

충남지역 사문암들은 세립질 내지 치밀질 암석으로서 신선한 부분에서는 회흑색 내지 암록색을 띠지만 풍화된 표면은 연두색, 회백색 내지 갈색을 띠고 더 풍화되어 토양화가 이루어지면 적갈색을 띤다. 또한 사문암은 엽리가 잘 발달된 것과 엽리를 전혀 볼 수 없는 것, 반상변정이 있는 것과 없는 것으로 다양하게 나타난다. 이 사문암들은 색과 입도에서는 뚜렷한 변화가 없으므로, 사문암의 엽리의 발달 정도와 반상변정의 양을 기준으로 충남지역 사문암들을 구분해 보면 Table 1에서 보는 바와 같이 크게 6개의 군으로 나뉜다.

이들의 현미경 관찰 결과, 사문암의 구성광물은 주로 사문석으로 이루어져 있으며 이 밖에 자철석, 크롬철석, 소량의 녹니석, 금운모, 활석등이 포함된다. 또한 기원암의 잔류광물인 감람석, 휘석 및 각섬석도 상당량 산출된다.

**Table 1.** Megascopic division of serpentinites in Choongnam area.

Porphyroblast(P)	degree of foliation		
	well	poor	none
P > 10%	① Y G S WP WP		
P < 10%	② Y G S WP	③ H △ G S WP	⑤ △ Wh M △ △
1% > P		④ △ S EB Wh W M C M T Sy	⑥ △ G EB S WP W H M C M T M ④

○: abundant    □: moderate    △: small amounts  
\* Other symbols are the same as those in Fig. 1.

상기 6개군의 사문암의 특징을 기술하면 다음과 같다. ①군 사문암은 흰색의 반상변정(직경 1~10mm)과 흰 줄무늬(폭 0.5~5mm) 및 엽리가 잘 발달된 암석이다. 현미경하에서 보면, 감람석, 휘석, 각섬석과 같은 기원암의 잔류광물의 양이 많고, 자철석의 양은 적다. 이들 잔류광물중 감람석이 가장 많고, 휘석과 각섬석의 순으로 나타나는데, 특히 흰색의 반상변정은 주로 휘석이며, 사문석으로 변환 것도 있다. 반상변정중에는 작은 각섬석 결정들이 밀집되어 나타나는 경우도 있다. 사문석은 주로 자철석의 망상조직 내에 발달하며, 패취(patch)상의 크롬철석 주위에도 나타난다. ②군 사문암은 ①군 사문암보다 반상변정의 양이 적은 것이다. 현미경하에서 보면 ①군 사문암과 유사하지만, ①군 사문암보다 잔류광물의 함량이 적어지고 사문석과 자철석의 양이 약간 증가한 특징을 보인다. ③군 사문암은 반상변정과 엽리의 발달 정도가 미약한 것으로서 현미경하에서 보면 잔류광물의 양이 5% 이내로 적어지고, 주로 사문석으로 구성되어 있으며, 감람석과 휘석으로부터 사문석으로 변질되는 양상이 잘 관찰된다. 자철석은 양이 많고, 망상구조가 잘 발달되었으며, 망상구조의 두께가 두꺼워진 것도 관찰된다. ④군 사문암은 반상변정이 1% 이하이며, 엽리의 발달 정도가 미약한 것이다. 현미경하에서 보면, 잔류광물이 거의 존재하지 않으며 주로 사문석으로 이루어져 있다. ⑤군 사문암은 반상변정의 양이 적고, 엽리가 보이지 않는 것으로서, 현미경하에서 보면 ③군 사문암과 유사한 특징을 보인다. ⑥군 사문암은 반상변정과 엽리가 발달되어 있지 않은 것으로서 현미경하에서 보면, 잔류광물이 없이 주로 사문석으로 구성되었으며 자철석의 망상구조가 잘 발달되어 있다.

상기 사항을 요약하면 다음과 같다. 즉 ①군 사문암에는 잔류광물의 양이 많으나 ②군, ③군, ⑤군 사문암으로 갈수록 잔류광물의 양이 적어지고, ④군과 ⑥군 사문암에는 잔류광물이 발견되지 않는다. 즉 엽리의 발달이 미약해지고, 반상변정의 양이 적어질수록 잔류광물의 함량이 감소하므로, 사문석화작용의 일반적인 진행 방향은 Table 1에서 ①군-③군-⑥군 사문암을 연결하는 대각선 방향이었다고 해석할 수 있다.

상기 사문암의 특징들은 광상에 따라, 또한 한 광상에서도 부위에 따라 다른데, 이는 사문석화작용을 받은 정도가 광상별, 광체 부위별로 다르기 때문으로 해석된다. 또한 엽리에 평행한 방향으로는 암상이 유사하지만, 엽리의 직각 방향으로는 암상이 크게 달라진다. 이를, 비교적 폭이 좁은 사문암체에서 사문석과 망상자철석이 엽리에 따라 길게 신장되어 배열하는 현미경 관찰결과와 관련지워 보면, 이러한 특징들은 변성작용시의 횡압력의 영향에 의한 것으로 해석할 수 있다.

충남지역 사문암들은 대부분이 61.6~89.0%의 사문석을 포함하는 것들이다. 그런데, 광시 및 월현광상에서는 기원암의 구성광물인 감람석, 휘석 및 각섬석의 양이 50% 이상(54.2~58.1%)인 사문석화감람암이 부분적으로 산출된다(Table 2).

### 사문암의 암석화학

충남지역 사문암의 화학성분과 변질과정을 파악하기 위하여 광상별 대표적 사문암의 주성분원소와 미량원소 및 희토류원소 분석을 기초과학지원연구소에 의뢰하여 시행하였다(Table 3). 주원소 분석은 Philips/PW 1480 X-ray fluorescence sequential spectrometer로, 미량원소 및 희토류원소 분석은 유도결합플라즈마 방출분광분석기(ICP emission spectrophotometer)와 유도결합플라즈마 질량분석기(ICP MS)로 분석하였다. 충남지역 사문암은 주로 SiO<sub>2</sub>(37.39-41.86%, 평균 39.99%)와 MgO(36.26-40.60%, 평균 38.46%)로 구성되어 있으며, 소량의 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*(6.74-10.25%, 평균 8.31%)를 포함할 뿐 나머지 성분은 그 양이 매우 적다. 이들 값은 McDonough (1990)가 제시한 전세계 평균 감람암의 값에 근접하는 값을 가지며, 주변암인 각섬석편암과 화강편마암의 값과는 큰 차이를 보인다. magnesium number (Mg/(Mg+Fe))도 0.87-0.90으로서 평균감람암의 값인

Table 2. Representative mineral content of serpentinized peridotite and serpentinite in Choongnam area.

	original minerals(%)				serpentine(%)				M	Cr	ots	total	remark (group)
	Ol	Px	H	sum	Ol	Px	ots	sum					
serpentinized peridotite	36.7	17.5	—	54.2	24.2	10.0	1.3	35.5	5.8	0.7	3.8	100.0	
	37.8	16.0	4.3	58.1	15.0	6.8	7.3	29.1	5.5	2.4	4.9	100.0	
serpentinite	9.8	14.0	5.0	28.8	28.0	28.0	5.6	61.6	5.4	0.9	3.3	100.0	①
	6.8	5.8	1.0	13.6	50.0	17.5	4.5	72.0	8.0	1.0	5.4	100.0	②
	3.0	3.0	0.8	6.8	50.0	28.8	4.5	83.3	5.5	1.4	3.0	100.0	③
	—	—	—	—	65.0	20.0	1.8	86.8	8.5	0.8	3.9	100.0	④
	6.5	3.0	0.8	10.3	52.5	22.5	4.0	79.0	6.0	1.9	2.8	100.0	⑤
	—	—	—	—	65.0	20.0	4.0	89.0	7.5	0.3	3.2	100.0	⑥

Ol: olivine, Px: pyroxene, H: hornblende, M: magnetite, Cr: chromite, ots: others

0.83에 근접하며, 각섬석편암(0.27-0.65) 및 화강편마암(0.50)과는 큰 차이를 보인다. 미량성분 중에는 특히 Cr(>1011ppm)과 Ni(>1660ppm)이 많고, 다음으로 Co(>80ppm)가 많은데, 이 값은 McDonough(1990)가 제시한 감람암의 평균치에는 미달되나 상당히 근접하는 값을 보이며, 주변암인 각섬석편암과 화강편마암의 값과는 큰 차이를 보인다.

희토류원소 분석치를 Sun과 McDonough(1989)가 제시한 원시맨틀 값으로 표준화한 자료를 도시해 보면 (Fig. 3, 4), 각섬석편암과 화강편마암의 값은 1보다 훨씬 높다(Fig. 3). 그러나 사문암은 전체적으로 1보다는 작는데, 잔류체가 많고 사문석화가 덜된 사문암은 1에 근접하는 값을 보이고, 잔류체가 적고 사문석화가 많이 진행된 암석에서는 1에서 많이 떨어진 값을 보인다. Eu 이상은 그리 뚜렷하지 않다. 따라서 이 사문암의 기원 암은 약간 결핍된 맨틀 기원의 것으로서 사문석화가 진행됨에 따라 REE값이 전반적으로 감소하였고, 특히 LREE쪽이 많이 감소하였다고 해석된다(Fig. 4)

### 사문암의 구성광물과 광물화학

충남지역 사문암의 구성광물인 감람석, 휘석, 각섬석, 크롬철석, 자철석, 녹니석, 금운모, 활석등의 화학성분과 변질과정을 파악하기 위하여 EPMA분석과 XRD분석을 시행하였다(Table 4). EPMA분석은 서울대학교 지질과 학과의 JEOL JXA 733 Superprobe를 이용하였고, XRD 분석은 공주대학교의 Rigaku DMAX-2000과 충남대학교의 Rigaku D/Max-IIIB로 실시하였다.

감람석은 Table 4에서 보는 바와 같이 그 조성이 유사하며, 주로 SiO<sub>2</sub>(40.55-40.87wt.%)와 MgO(49.08-51.67wt.%)로 구성되어있고, Mg이온이 89.6~91.8%로서 10% 내외의 Fe<sup>2+</sup> 이온이 Mg 이온을 치환하고 있으므로 거의 포스터라이트의 이론치에 가까운 구조식을 갖는다. 감람석의 magnesium number는 0.90~0.92로서 비교적 높다.

휘석도 Table 4와 같이 그 조성이 유사하며, 주로 SiO<sub>2</sub>(54.42~56.48wt.%)와 MgO(33.56~35.79wt.%)로 구성되어있고, Mg 이온이 89.0~91.9%로서 휘석의 EPMA분석결과를 Wo-En-Fs삼각도에 도시해 보면 모두 엔스터타이트 영역에 속한다. 휘석의 magnesium number도 93.10~95.50으로서 비교적 높다.

현미경 관찰과 XRD 분석결과, 충남지역 사문암의 사문석은 안티고라이트, 리자다이트 및 크리스타일이 모두 산출되며, Wicks and Whittaker(1977)에 의한 조직의 특징을 잘 나타낸다. 즉 안티고라이트는 신장된 결정들이 서로 맞물려 있고, 리자다이트는 감람석의 결정 경계나 결정내 틈을 따라 나타나고, 흔히 감람석의 가상을 이루며 크리스타일은 섬유상 또는 리본 형태를 이룬다. 또한, 사문암내 반상변정을 이루는 사문석은 주로 안티고라이트이고, 크리스타일은 주로 석면맥으로 산출되며, 망상조직내의 리자다이트로부터 변화된 것도 소량 나타난다. 사문석은 Table 4와 같이 그 조성이 유사하고, 모두 이론치에 가까운 값을 갖는다. 주로 SiO<sub>2</sub>(40.99~43.14wt.%)와 MgO(37.11~40.84wt.%)로 구성되어있고, FeO\*(1.98~4.04wt.%)의 값은 적으며 안티고라이트, 리자다이트, 크리스타일에 따른 성분변화는 나





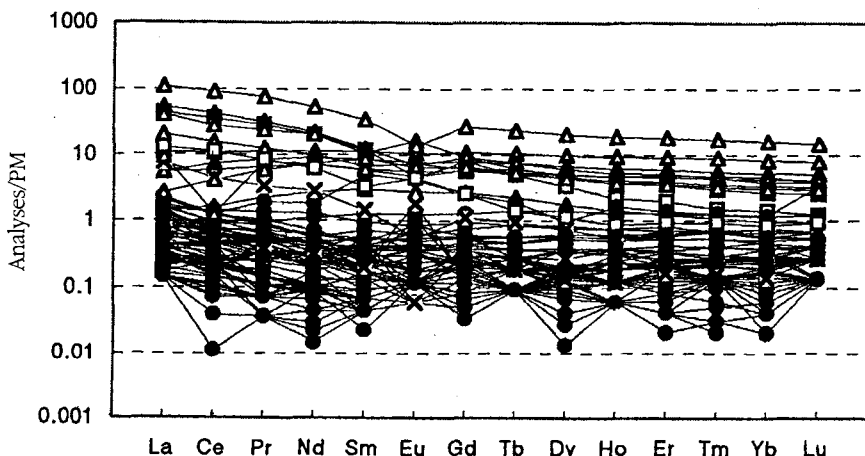


Fig. 3. PM(primitive mantle composition) normalized REE abundance of some serpentinites(●), talc ores(×), amphibole schists(△), biotite schists(▲), and granite gneisses(□) in Choongnam area. PM data from Sun and McDonough(1989).

타나지 않는다.

감람석과 휘석은 그 결정경계나 결정내의 간극을 따라 사문석화가 진행된 것을 볼 수 있는데, 감람석 또는 휘석으로부터 사문석에 이르는 선에 따른 분석결과에 의하면, 감람석에서 사문석으로 변하는 경우에는 MgO와 FeO\*가 감소하고, SiO<sub>2</sub> 값에는 큰 변화가 없다. 이 사문석화 과정에서 FeO\*의 감소로 빠져나간 Fe가 사문석의 결정경계에 따라 발달되는 망상구조의 자철석을 이룬다고 해석할 수 있다. 휘석에서 사문석으로 변하는 경우에는 SiO<sub>2</sub>가 크게 감소하고, FeO\*는 약간 감소하며 MgO는 약간 증가한다.

사문암과 주변암인 각섬석편암 및 편마암에서 산출되는 각섬석의 EPMA 분석 결과를 Leake(1978)의 분류법에 따라 도시해 보면, 사문암내의 각섬석은 대부분 magnesian-hornblende 영역에 속하고, 각섬석편암 및 편마암내의 각섬석은 주로 pargasitic hornblende, ferroan pargasitic hornblende, pargasite, ferroan-pargasite 영역에 속하지만 일부 magnesian-hornblende, tschermakitic hornblende, tschermakite, ferro-tschermakite 영역에 속하는 것도 있다. 한편, 사문암내의 각섬석 분석치를 Na+K대 <sup>IV</sup>Al도에 도시해 보면 모두 Jamieson(1981)의 변성기원 각섬석영역에 속하므로 이 각섬석들은 충남지역 사문암들이 변성작용을 받는 과정에서 형성된 것이라고 해석할 수 있다.

충남지역 사문암내의 크롬스피넬은 황갈색과 암적색

내지 흑색을 띠는 것으로 구분되는데 EPMA분석 결과, 전자는 피코타이트에, 후자는 크롬철석에 해당된다. 이들의 분석치를 Fig. 5와 같이 Cr#대 Mg#도에 도시해 보면, 대부분 알파인형의 영역에 속하고, 특히 변성알파인 영역에 집중된다. 따라서 충남지역 사문암들은 변성작용을 받은 알파인형에 속한다고 해석할 수 있다. 한편, 공생하는 감람석과 스피넬의 값을 감람석-스피넬 지은계 공식(Fabries, 1979)에 적용하여 보면, 광시광상 사문석의 추정온도는 542~641℃(평균 600℃), 홍성광상의 경우는 535~656℃(평균 610℃), 광천광상의 경우는 537~674℃(평균 590℃)이다. 휘석-지질온도계로 구한 백령도, 간성, 보은지역 알칼리현무암내 맨틀포획암들의 평형온도 평균값이 970-1020℃이므로(이한영, 1995),

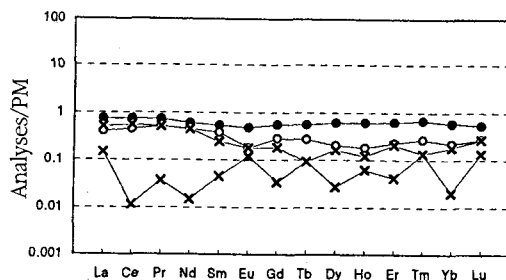


Fig. 4. PM normalized REE abundance of serpentinized peridotite(●), serpentinite I(○) and serpentinite II(×) in Choongnam area. PM data from Sun and McDonough(1989).

Table 4. Electron microprobe analyses of representative minerals.

Mineral	olivine			pyroxene			serpentine			spinel			amphibole			chlorite			phlogopite			taic				
	Y	G	K	G	H	K	Y	G	H	K	G	H	K	G	H	K	P	G	K	P	G	K	P	Y	K	
ore deposits																										
SiO <sub>2</sub>	40.55	40.87	40.64	40.58	54.42	56.48	56.38	43.14	40.99	41.99	41.52	1.86	1.96	0.03	44.50	48.77	49.63	29.99	29.55	30.77	40.29	59.96	58.39	40.29	59.96	58.39
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.01	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.14	0.24	0.13	0.49	0.31	0.29	0.00	0.04	0.18	0.57	0.07	0.00	0.57	0.07	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.00	0.00	0.00	4.33	0.97	1.37	2.12	0.88	0.02	0.72	21.40	0.47	17.83	12.24	8.60	8.95	19.93	18.78	17.85	15.16	0.79	0.11	15.16	0.79	0.11
FeO*	9.68	8.53	8.60	8.32	6.98	5.98	6.35	4.15	1.37	2.34	1.98	24.37	72.79	29.85	4.31	2.80	3.29	9.41	2.79	3.57	7.89	1.56	2.61	7.89	1.56	2.61
MnO	0.19	0.11	0.13	0.14	0.17	0.16	0.16	0.02	0.02	0.07	0.09	0.43	1.72	0.50	0.05	0.01	0.04	0.20	0.00	0.06	0.02	0.07	0.08	0.02	0.07	0.08
MgO	49.08	51.38	51.67	51.55	33.56	35.96	35.79	37.11	39.01	40.41	40.84	10.19	4.79	8.29	18.01	20.62	20.42	27.03	31.53	30.57	20.67	30.06	32.49	20.67	30.06	32.49
CaO	0.01	0.00	0.00	0.00	0.32	0.15	0.10	0.03	0.11	0.00	0.01	0.02	0.06	0.01	13.15	15.13	13.31	0.05	0.00	0.03	0.02	0.00	0.33	0.02	0.00	0.33
Na <sub>2</sub> O	0.01	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	1.60	1.22	1.55	0.00	0.00	0.00	0.02	0.06	0.01	0.02	0.06	0.01
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.04	0.05	0.02	0.35	0.54	0.24	0.18	0.01	2.18	9.87	0.25	0.00	9.87	0.25	0.00
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.02	0.04	0.01	0.52	0.31	0.50	0.00	0.14	0.00	0.00	42.14	14.60	42.13	0.63	0.90	0.38	0.00	1.87	0.64	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.03
NiO	0.00	0.40	0.32	0.42	0.10	0.06	0.11	0.00	0.17	0.14	0.22	0.13	1.56	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	99.55	101.32	101.40	101.05	100.53	100.07	100.76	86.57	82.70	84.97	85.40	100.82	98.27	99.02	95.33	98.90	98.10	86.79	84.72	86.09	94.51	92.82	94.05	94.51	92.82	94.05
	N(4)			N(6)			N(14)			N(32)			N(23)			N(28)			N(22)			N(22)				
Si	0.988	0.9905	0.9731	0.9747	1.8681	1.9337	1.9210	4.057	2.003	2.004	1.975	0.4865	0.5526	0.0068	6.408	6.792	6.859	5.843	5.745	5.969	5.831	7.861	7.646	5.831	7.861	7.646
Ti	0.000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0021	0.0000	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0258	0.0511	0.0246	0.052	0.034	0.033	0.060	0.005	0.026	0.062	0.007	0.000	0.062	0.007	0.000
Al(IV)	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1752	0.0391	0.0550	0.235	0.051	0.011	0.016	6.2595	0.1561	5.4573	1.582	1.208	1.141	2.157	2.255	2.031	2.169	0.122	0.017	2.169	0.122	0.017
Al(VI)	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1752	0.0391	0.0550	0.235	0.051	0.011	0.016	6.2595	0.1561	5.4573	1.582	1.208	1.141	2.157	2.255	2.031	2.169	0.122	0.017	2.169	0.122	0.017
Fe	0.199	0.1328	0.1190	0.1157	0.1272	0.0862	0.0914	0.326	0.056	0.094	0.079	4.5927	5.7327	4.6472	0.069	0.101	0.042	1.533	0.454	0.579	0.955	1.171	0.286	0.955	1.171	0.286
Fe(3)	0.004	0.0383	0.0533	0.0514	0.0732	0.0851	0.0895	0.002	0.001	0.003	0.004	0.0904	0.4115	0.1091	0.139	0.327	0.054	0.033	0.000	0.010	0.002	0.008	0.002	0.002	0.008	0.002
Mn	1.800	1.8379	1.8449	1.8461	1.7178	1.8357	1.8183	5.203	2.842	2.874	2.897	3.7679	2.0140	3.2101	3.865	4.283	4.211	7.851	9.138	8.840	4.460	5.875	6.942	4.460	5.875	6.942
Mg	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0118	0.0055	0.0037	0.003	0.006	0.000	0.001	0.0043	0.0193	0.0028	2.024	2.258	1.968	0.010	0.000	0.006	0.003	0.015	0.003	0.003	0.015	0.003
Ca	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0038	0.0158	0.0000	0.450	0.327	0.415	0.000	0.000	0.000	0.006	0.015	0.003	0.006	0.015	0.003
Na	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0009	0.0000	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.0117	0.0187	0.0066	0.061	0.092	0.042	0.045	0.003	0.540	1.822	0.042	0.000	1.822	0.042	0.000
K	0.000	0.0000	0.0000	0.0009	0.0009	0.0000	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	8.2584	3.2532	8.6520	0.380	0.000	0.328	0.000	0.287	0.098	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.003
Cr	0.000	0.0004	0.0007	0.0002	0.0141	0.0084	0.0135	0.000	0.005	0.000	0.000	0.0259	0.3525	0.0489	0.000	0.000	0.000	0.023	0.000	0.038	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.000	0.0077	0.0062	0.0081	0.0028	0.0017	0.0030	0.000	0.007	0.005	0.000	56.91	95.42	61.32												
Cr#	90.05	91.48	91.46	91.70	93.10	95.50	95.20					45.10	26.00	40.90												
Mg#																										

Abbreviations are the same as those in Fig. 1. exclusive of followings : FeO\* is total iron. N(-) means number of oxygen. Mg# is equal to 100×Mg/(Mg+Fe<sup>2+</sup>) and Cr# is equal to 100×Cr/(Cr+Al).

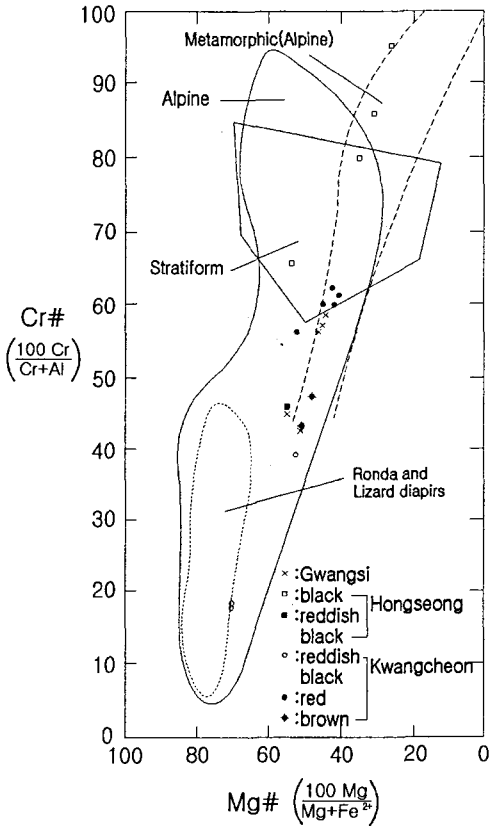


Fig. 5. Plot of chromium spinel compositions of ultramafic rocks from Gwangsi, Hongseong and Kwangcheon ore deposits, and their comparisons with available data, Data from Dick and Bullen(1984), Lipin(1984), and Agata(1988).

상기 사문암의 온도들은 초염기성암의 평형온도라기보다는 녹색편암상 내지 각섬암상 변성작용시의 온도라고 해석된다. 즉 이 지역 사문암의 기원암은 주변암인 서산층군 및 경기편마암복합체가 받은 변성상과 같은 녹색편암상 내지 각섬암상의 변성작용을 받은 것으로 해석할 수 있다.

또한, 사문암은 기원암으로부터의 사문석화작용 과정 또는 그 이후에 휘석, 각섬석, 금운모로부터의 녹니석화작용을 받았으며, 특히, 사문암내의 열극과 사문암과 주변암과의 경계부를 따라 상승한 열수용액에 의하여 주로 사문석이, 그리고 일부 녹니석이 활석화작용을 받아 활석광상을 형성하였다. 사문암내에서 산출되는 녹니석의 EPMA분석결과를 녹니석의 분류도(Hey, 1954)에 도시하면 대부분 clinocllore와 penninite 영역에 속한다.

한편, 금운모에서 녹니석으로 변질되는 경우에는 SiO<sub>2</sub>는 약간 감소하고, MgO는 크게 증가하는데, 사문석에서 활석으로 변하는 경우에는 SiO<sub>2</sub>가 크게 증가하고, MgO는 약간 감소한다.

### 고찰

충남지역의 사문암은 사문석의 함량이 80~90%인 것이 주로 분포되어 있으며, 게다가 이들의 많은 부분이 활석화되어 있어서 그 기원암을 알아내기가 매우 어렵다. 그러나 비교적 신선한 사문암이 산출되는 유구, 비봉, 싸리울, 광시 및 홍성광상 사문암체에서 기원암의 잔류광물인 감람석과 휘석이 발견되고, 감람석과 휘석의 결정경계나 결정내의 간극을 따라 사문석화가 진행되는 것을 관찰할 수 있다. 또한, 광시 및 월현광상 사문암체에서는 부분적으로 이들 잔류광물의 양이 50% 이상인 사문석화감람암이 발견되어 이 사문암의 기원암이 감람암임을 확인할 수 있다. 또한, 사문암의 분석치는 McDonough(1990)가 제시한 전세계 맨틀기원 감람암의 평균치와 유사하고, 특히 Cr, Ni, Co 등의 값이 높으며 magnesium number도 유사하다. 또한 감람석과 휘석의 magnesium number도 90 정도의 값을 보인다.

상기 사실들로부터 이 사문암의 기원암은 맨틀기원의 초염기성암인 감람암이었다고 해석할 수 있다(Park, 1989; Raymond, 1995). 또한 사문암의 희토류원소 분석치를 원시맨틀 값으로 표준화한 값을 도시해 보면, 사문석화가 덜된 사문암은 전체적으로 1보다는 작으나 1에 근접한 값을 보이는 점으로 보아 이 사문암의 기원암은 약간 결핍된 맨틀기원의 것으로 해석할 수 있다. 사문암내 잔류광물 중에는 감람석이 가장 많고, 다음으로 휘석인데, 휘석은 주로 사방휘석이고, 단사휘석의 양은 극히 적다. 이 사문암들의 모드 분석결과를 통하여 사문암내의 잔류광물인 감람석과 휘석의 양을 구하고, 이에 감람석과 휘석으로부터 각각 형성된 사문석의 양과 합하여 이를 초염기성암의 분류도인 Ol-Px Hbl 삼각도(Streckeisen, 1976)에 도시해 보면 대부분 더나이트(dunite)와 휘석감람암(pyroxene peridotite) 영역에 속하고, Ol-Opx-Cpx 삼각도(Streckeisen, 1976)에 도시해 보면 더나이트와 해즈버자이트(harzburgite) 영역에 속한다. 따라서 충남지역 사문암의 기원암은 약간 결핍된 맨틀기원의 초염기성암인 더나이트 내지 해즈버자

이트였다고 해석할 수 있다.

한편, 충남지역 초염기성암체의 지구물리학적 연구(서만철 외, 2000)에서 충남지역 사문암의 기원암은 30~40km 깊이에 있는 상부 맨틀의 페리도타이트라고 해석하였고, 광시광상 지역의 탄성파단면 해석으로 사문암체와 편마암의 경계는 고각의 단층 접촉을 이루며 사문암체는 편마암속에서 상부가 넓고, 하부로 갈수록 좁은 깔때기 형태를 취하고 있어 이를 통하여 사문암의 기원암이 상승한 것으로 해석하였다.

상기 사실을 종합하면, 충남지역 사문암의 기원암은 30~40km 깊이의 상부 맨틀에 있던 더나이트 내지 해즈버자이트가 대규모 단층과 같은 틈을 따라 지각 내로 정지된 알파인형 초염기성암으로 해석된다.

초염기성암의 사문석화작용은 주로 다음과 같은 두 가지 과정에 따라 이루어진다고 알려져 있다.

④ 초염기성암의 형성 직후 구성광물인 감람석과 휘석 또는 감람석과 휘석이 함께 물의 공급을 받아 사문석으로 변하는 자변성작용으로서의 사문석화작용(Hyndman, 1972; Winkler, 1974; Turner, 1981; Ehlers and Blatt, 1982; Bowen and Tuttle, 1949)

⑤ 녹색편암상과 각섬암상의 변성작용에서 감람석이  $\text{SiO}_2$ 와  $\text{H}_2\text{O}$ 의 공급을 받아 사문석으로 변하는 과정(Francis, 1956).

그런데, 충남지역 사문암에 엽리와 반상변정이 발달되고, 사문암체의 엽리와 주변암 엽리의 주향·경사가 유사하고, 현미경하에서 사문석과 망상 자철석이 엽리 방향으로 신장된 것이 관찰되고, 사문암내 각섬석이 변성작용에 의한 것이고, 사문암내 크롬스피넬을  $\text{Cr}\#$  대  $\text{Mg}\#$ 도에 도시하면 변성작용을 받은 알파인형에 속하고, 감람석-스피넬 지은계(Fabrics, 1979)를 이용한 추정 온도에 의하면, 이 지역 사문암이 주변암인 서산층군 및 경기편마암복합체가 받은 변성상과 같은 녹색편암상 내지 각섬암상의 변성작용을 받은 것으로 해석할 수 있다. 따라서 충남지역 사문암의 기원암으로부터의 사문석화작용은 상기 ④의 과정을 완전히 배제할 수는 없겠지만, 주 사문석화작용은 이 지역에서 광범위하게 일어났던 녹색편암상 내지 각섬암상의 광역변성작용시에 주로 ⑤의 과정에 따라 이루어졌다고 해석된다.

## 결론

이 연구 결과 밝혀진 사실을 요약하면 다음과 같다.

1. 충남지역의 초염기성암체는 주로 활석과 석면광상의 모암을 이루는 사문암체로서 홍성-광천과 온양-유구-청양을 연결하는 선 내부의 선캄브리아기 편마암복합체내에서 북북동 방향에 따라 단속적으로 평행 발달하는 10여개조의 렌즈상 관입암체들이다. 사문암체의 규모는 폭 수십 cm~1km, 연장 수 m~5km로서 곳에 따라 그 규모가 다양하다.
2. 이 사문암들은 주로  $\text{SiO}_2$ (평균 39.99wt.%)와  $\text{MgO}$ (평균 38.46wt.%)로 구성되어있고,  $\text{Cr}()$  1011ppm,  $\text{Ni}()$  1660ppm 및  $\text{Co}()$  80ppm의 함량이 많다.
3. 이 사문암들은 주로 사문석의 양이 50% 이상인 것이 대부분이며, 부위에 따라 기원암의 잔류광물인 감람석과 휘석, 크롬철석 등이 발견되는 데, 사문암체내에는 부분적으로 이들 잔류광물의 함량이 50% 이상 되는 사문석화감람암과 활석 및 석면광체를 포함한다.
4. 잔류광물인 감람석과 휘석은 결정경계나 결정내 간극을 따라 사문석화하는 데, 감람석으로부터 사문석화될 경우에는  $\text{MgO}$ 와  $\text{FeO}^*$ 가 감소하고,  $\text{SiO}_2$ 는 별변화가 없다. 사문석 결정 주위에 망상구조를 이루는 자철석은 이 사문석화과정에서 빠져나온 철로부터 형성된 것이다. 휘석으로부터 사문석화될 경우에는  $\text{SiO}_2$ 가 크게 감소하고  $\text{FeO}^*$ 는 약간 감소하며  $\text{MgO}$ 는 약간 증가한다.
5. 충남지역 사문암의 기원암은 알파인형 초염기성암으로서 약간 결핍된 상부 맨틀(깊이: 30~40km)기원의 더나이트 내지 해즈버자이트였으며, 대규모 단층을 따라 상승한 것으로 해석된다.
6. 충남지역 사문암의 기원암으로부터의 주 사문석화작용은 이 지역에서 일어난 녹색편암상 내지 각섬암상의 광역변성작용시에 일어났다고 해석된다.

## 사사

이 연구는 한국과학재단 핵심전문연구비(961-0401-

004-2)에 의하여 수행된 충남지역 초염기성암체의 암석학적 및 지구물리학적 연구 중 일부로서 연구비를 지원해 준 한국과학재단에 깊이 감사드린다. 또한 이 연구를 수행하는 동안 여러 가지로 도움을 주신 중부대학교 송석환 교수와 야외지질조사와 실내연구를 도와준 지질학과 대학원생 여러분들에게도 깊이 감사한다. 특히 논문심사과정에서 이 논문을 자세히 검토하고 유익한 조언과 건설적인 의견을 주신 익명의 심사자에게 깊이 감사드린다.

## 참고문헌

- 강해선, 1997, 충남 청양·부여군일대에 분포하는 싸리울-명홍-부여활석광화대의 성인. 공주대학교 석사학위논문, 50 p.
- 김규봉, 1972, 한국의 활석광상, 지질광상조사연구보고 제14호, 국립지질조사소, 5-121.
- 김중부, 1998, 충남 홍성사문석광상 사문암의 변질작용. 공주대학교 석사학위논문, 47 p.
- 대한광업진흥공사, 1981, 1988, 한국의 광상(비금속편). 제9호, 제11호(1985-1989) 광상시추조사보고. 제8호-제12호.
- 島村新兵衛, 1930, 1/5만 청양·대천·부여·남포지질도폭 및 설명서. 조선총독부, 8 p.
- 류정렬, 1993, 충남 유구활석광상의 활석화과정. 공주대학교 석사학위논문, 35 p.
- 박종삼, 1996, 충남 비봉사문석광상 일대에 분포하는 초염기성암체의 변질작용. 공주대학교 석사학위논문, 56 p.
- 서동욱, 1998, 충남 예산군 광시사문석광상 사문암의 변질작용. 공주대학교 석사학위논문, 57 p.
- 서만철·우영균·송석환·Hao, Tian Yao, 2000, 충남지역 초염기성암체의 지구물리학적 연구: 탄성과 속도특성, 한국 지구과학회지, 21.
- 송윤구, 1995, 청양-광천지역 염기성암체의 변질작용과 변질 광물의 광물화학. 연세대학교 박사학위논문, 239 p.
- 엄상호·이민성, 1963, 1/5만 대흥지질도폭 및 설명서, 국립지질조사소, 18 p.
- 우영균, 1995, 충남지역 활석광상의 성인(I) 활석광상지역의 지질, 공주대학교 자연과학연구, 4, 81-86.
- 우영균, 1996, 충남지역 활석광상의 성인(II) 사문암기원활석광상의 활석화작용, 공주대학교 자연과학연구, 5, 105-110.
- 우영균·최석원·박기화, 1991, 충남 예산지구활석광상의 성인에 관한 연구. 광산지질 24, 363-378.
- 우영균·이동우, 1993, 충남 예산지구활석광상의 기원암과 활석화과정에 관한연구, 전라광물연구소, 59 p.
- 윤상필·문희수·송윤구, 1994, 초염기성암 기원의 평안 및 대흥활석광상의 성인과 광물화학. 자원환경지질 27, 131-145.
- 이종혁·김성수, 1963, 1/5만 홍성지질도폭 및 설명서, 국립지질조사소, 33 p.
- 이한영, 1995, 남한의 알칼리현무암에 분포하는 맨틀포획암의 암석화학적 연구: 상부맨틀의 온도 및 압력 추정. 암석학회지 42, 104-123.
- 임학수, 1998, 충남 광천사문석광상 사문암의 변질작용. 공주대학교 석사학위논문, 51 p.
- 조용현, 1993, 충남 유구활석광상 지역의 초염기성암에 관한 연구. 공주대학교 석사학위논문, 40 p.
- 지정만·김규봉, 1977, 사문석의 활석화 과정에 관한 연구. 광산지질 10, 67-74.
- 최성호, 1995, 충청남도 홍성, 광천, 정전지역에 분포하는 초염기성암의 변질작용, 고려대학교 석사학위논문, 96 p.
- 한국자원연구소, 1995, 1/25만 대전지질도폭 및 설명서, 과학기술처, 59 p.
- Agata, T., 1988, Chrome spinels from the Oura layered igneous complex, central Japan. *Lithos*, 21, 50-375.
- Anhaeusser, C.R., 1976, The nature of chrysotile asbestos occurrences in Southern Africa: review. *Econ. Geol.*, 71, 96-116.
- Bowen, N.L. and Tuttle, O.F., 1949, The system MgO-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 60, 439.
- Colemann, R.G., 1971, Petrologic and Geophysical nature of serpentinites. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 82, 897-918.
- 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.*, 86, 54-76.
- Dymek, R.F., Brothers, S.C. and Schiffries, C.M., 1988, Petrogenesis of ultramafic metamorphic rocks from 3800Ma Isua supracrustal belt, Western Greenland. *J. Petro.*, 29, 1353-1397.
- Ehlers, E.G. and Blatt, H., 1982, Igneous, sedimentary and metamorphic petrology. Freeman, 732 p.
- Fabries, J., 1979, Spinel-olivine geothermometry in peridotites from ultramafic complexes. *Contrib. Miner. Petrol.*, 69, 329-336.
- Francis, G.H., 1956, The serpentinite mass in GlenUrquhart, Inverness-shire, Scotland. *Sci.*, 254, 201 p.
- Griffins, 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. Petro.*, 25, 53-89.
- Hey, M.H., 1954, A new review of the chlorites, *Min. Rnag.* 30, 277 p.
- Hyndman, D.W., 1972, *Petrology of Igneous, and*

- metamorphic Rocks, 103-113.
- Jackson, I., Rudnick, R.L., O'Reilly, S.Y. and Bezant, C., 1990, Measured and calculated wave velocities for xenoliths from lower crust and upper mantle. *Tectonophysics*, 173, 207-210.
- Jamieson, R.A., 1981, Metamorphism during ophiolite emplacement-The petrology of the St. Anthony Complex. *J. Petrol.*, 22, 397-449.
- Kim, G.Y., 1997, Electron microscopic study on the talc mineralization in the Yesan-Goygu-Cheongdang area, Korea, Seoul National University, Ph.D. thesis, 259 p.
- Leake B.E., 1978, Nomenclature of amphiboles. *Can. Mineral.*, 16, 501-520.
- Lipin, B.R., 1984, Chromite from the Blue Ridge province of North Carolina. *Amer. J. Sci.*, 284, 507-529.
- McDonough, W.F., 1990, Constraints on the composition of the continental lithospheric mantle. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 101, 1-18.
- Moores, E.M. and MacGregor, I.E., 1972, Types of alpine ultramafic rocks and their implications for fossil plate interactions. In Shagam, R. et al., eds., *Studies in Earth and Space Sciences*. Geol. Soc. Amer. Memoir, 132, 209-223.
- Na, K.C., 1992, A study on the metamorphism in the southwestern part of Gyeongsu Massif. *J. Petrol. Soc. Korea*, 1, 25-33.
- Nicolas, A., 1986, Structure and petrology of peridotites: Clues to their geodynamic environment. *Rev. Geophys.*, 24, 875-895.
- O'Reilly, S.Y., Jackson, I. and Bezant, C., 1990, Equilibration temperatures and elastic wave velocities for upper mantle rocks from eastern Australia: Implications for the interpretation of seismological models. *Tectonophysics*, 185, 67-82.
- Park, A.F., 1989, Peridotite. In the *Encyclopedia of igneous and metamorphic petrology*, 437-438 p.
- 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.*, 36, 81-105.
- Raymond, L.A., 1995, The study of igneous, sedimentary and metamorphic rocks, Wm. C. Brown Publishers, 742 p.
- Song, S.H., Choi, S.G., and Woo, J.G., 1997, Genetic implications of ultramafic rocks from Bibong area in Kyeonggi Gneiss Complex. *Econ. Environ. Geol. Korea*, 30, 477-479.
- Streckeisen, A., 1976, To each plutonic rock its proper name. *Earth-Science Rev.*, 12, 1-33.
- 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., 42, 313-345.
- Turner, F.J., 1981, *Metamorphic petrology*(2nd ed.). McGraw-Hill Co, 524 p.
- Wee, S.M., Choi, S.G. and So, C.G., 1994, Preliminary study on ultramafic rocks from the Chungnam Province, Korea. *Econ. Environ. Geol. (Korea)*, 27, 171-180.
- Wicks, F.J. and Whittaker E.J.W., 1977, Serpentine textures and serpentinization. *Can. Mineral.*, 15, 459-488.
- Winkler, H.G.F., 1974, *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*(3rd ed.). Springer-Verlag, 148-194.

---

2000년 5월 4일 원고 접수

2000년 6월 10일 원고 채택